UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI FAKULTET

Zdravko P. Giljen

MATEMATIČKI MODEL UNIVERZALNE ČETVOROKVADRANTNE RADNE KRIVE HIDRAULIČNIH MAŠINA ZAVISAN OD SPECIFIČNE BRZINE OBRTANJA I PRIMENJEN U PRORAČUNIMA PRELAZNIH REŽIMA

Doktorska Disertacija

Beograd, Jun 2024

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Zdravko P. Giljen

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE UNIVERSAL FOUR-QUADRANT WORKING CURVE OF HYDRAULIC MACHINES DEPENDING ON THE SPECIFIC SPEED OF ROTATION AND APPLIED IN CALCULATIONS OF TRANSIENT MODES

Doctoral Dissertation

Belgrade, June 2024

Mentor:

dr Miloš Nedeljković, red. prof. Mašinskog fakulteta u penziji, Univerziteta u Beogradu

Članovi komisije:

dr Miloš Nedeljković, red. prof. Mašinskog fakulteta u penziji, Univerziteta u Beogradu

> dr Đorđe Čantrak, red. prof. Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

dr Nenad Jaćimović, vanr. prof. Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

Datum odbrane: Septembar 2024. god.

Zahvalnica

Tokom izrade ove doktorske disertacije koja je trajala sedam godina, uložen je veliki rad i trud, ali nebi se uspjelo doći do kraja izrade ove disertacije da nije bilo pomoći i podrške od strane moje porodice, moga mentora, uvaženih profesora i institucija kojima se ovom prilikom od srca zahvaljujem. Posebno bih istakao zahvalnost prema:

- Mojoj porodici, supruga *Veselinka*, sin *Danilo*, kćerka *Jelena*, sin *Petar*, u toku izrade doktorske disertacije veliko požrtvovanje, razumijevanje i podršku imao sam od moje porodice na čemu sam im neizmjerno zahvalan.
- Prof. dr Miloš Nedeljković, mom dragom mentoru sam doživotno zahvalan na svemu što je u radio za mene tokom izrade ove doktorske disertacije, takođe od mog mentora sam imao bezrezervnu podršku i razumijevanje u svakom trenutku tokom izrade ove doktorske disertacije, neizmjerno sam zahvalan mom dragom mentoru na požrtvovanju i ogromnom znanju koje mi je prenio tokom sedam godina izrade ove disertacije, na što sam posebno ponosan.
- *Prof. dr Miroslav Benišek*, mom dragom profesoru sam nizmjerno zahvalan na podršci tokom izrade ove disertacije, korisnim savjetima, sugestijama i znanju koje mi je prenio.
- Prof. dr Stanislav Pejović, mom dragom profesoru sam nizmjerno zahvalan na ljuckom razumijevanju, podršci tokom izrade ove disertacije, korisnim savjetima, sugestijama. Posebno sam zahvalan uvaženom profesoru na literaturi, numeričkim kodovima za proračun hidrauličkog udara koje mi je predao da radim na njima i da ih dalje unapređujem i usavršavam, što mi pričinjava posebnu čast i zadovoljstvo.
- *Prof. Dr. Yongguang Cheng* Director, Research Section of Safety of Hydropower System The State Key Laboratory of Water Resources & Hydropower Engineering Science, Wuhan University, P. R. China. Prof. Cheng je svojom velikodušnoću i ljuckosti puno pomogao za izradu ove doktorske disertacije, omogućio mi je da obavim mjerenja i eksperimentalna istraživanja u laboratoriji u Wuhanu na dva modela pumpnih turbina i koristim ove podatke za izradu doktorske disertacije, takođe mi je obezbijedio modelske podatke za četvorokvadrantne krive za 11 modela radijalnih pumpnih turbina što je predstavljalo ključni momenat za dalji razvoj i izradu ove doktorske disertacije.
- *Prof. Dr. Ing. Christian Bauer* Head of Institute for Energy Systems and Thermodynamics - Vienna University of Technology, Vienna, Austria. Prof. Baur je uradio ogromni doprinos za početak doktorskih studija i izrade doktorske disertacije na čemu sam neizmjerno zahvalan, nakon mjerenja i eksperimentalnih istraživanja koja sam obavio u laboratoriji u Beču na jednom modelu pumpne turbine počeo sam doktorske studije, i zatim sam koristio ove podatke za izradu doktorske disertacije.
- Mr. Roberto Castellano Direktor Direkcije za poslovni i tehnički razvoj EPCG Elektropriveda Crne Gore, zahvaljujući velikodušnosti i ljuckosti Mr.Castellano ja sam počeo doktorske studije, Mr.Castellano je uradio puno za mene lično i za moj dalji profesionalni razvoj, bez podrške Mr.Castellano ja ne bih bio u mogućnosti da finansiram doktorske studije kao i istraživanja koja sam obavio u laboratorijama u Beču-Austrija i Wuhanu-Kina, na čemu sam neizmjerno zahvalan. Od Mr. Castellano sam u svakom trenutku imao ljucko razumijevanje i punu podršku za doktorske studije.
- Vlada Crne Gore zahvaljujem se na velikodušnosti i ljuckosti predstavnika Vlade Crene Gore koji su u više navrata u finansijkom dijelu pomogli izradu ove doktorske disertacije, jer ja sam nijesam bio u mogućnosti da finansiram doktorske studije kao i istraživanja koja sam obavio u laboratorijama u Beču-Austrija i Wuhanu-Kina, na čemu sam neizmjerno zahvalan Vladi Crne Gore.

"Blago onom ko dovijeka živi, imao se rašta i roditi...." Petar II Petrović Njegoš (1813-1851)

Matematički model univerzalne četvorokvadrantne radne krive hidrauličnih mašina zavisan od specifične brzine obrtanja i primenjen u proračunima prelaznih režima

Sažetak.

Predmet istraživanja disertacije predstavlja analiza prelaznih (nestacionarnih) režima u hidroenergetskim postrojenjima, posebno u hidroelektranama sa ugrađenim pumpnim-turbinama, i pumpnim postrojenjima sa ugrađenim pumpama. Imajući u vidu izražen uticaj četvorokvadrantnih radnih krivih turbomašina na ove režime, posebno se analizira uticaj oblika radnih krivih pumpnih-turbina na prelazne procese, kao i uticaj specifične brzine obrtanja na oblik radnih krivih.

Naučni cilj disertacije je razvoj metodologije za kreiranje univerzalnih (opštih, generisanih) jednačina (analitičkih izraza) za radne krive pumpnih-turbina i pumpi koje obuhvataju uticaj specifične brzine obrtanja. U ovoj disertaciji razvijena je metodologija analize većeg broja eksperimentalnih podataka, sistematizovani rezultati i urađena sinteza u generalnu zakonitost. Konačni cilj i doprinos disertacije je nova metoda (dobijena primjenom drugih naučnih metoda) kojom se definiše univerzalna zakonitost (jednačina, analitički izraz) četvorokvadrantnih radnih krivih u odnosu na parametar specifične brzine, koja se dalje generalno koristi za proračune u stručnoj primjeni na realna postrojenja. Takođe, je i praktično primijenjen novodobijeni model i upoređeni su dobijeni rezultati sa eksperimentalnim.

Naučna oblast disertacije je oblast hidrauličnih mašina i energetskih sistema (primijenjena mehainka fluida) odn. ponašanje hidrauličnih mašina i sistema u prelaznim procesima. Predmet istraživanja su četvorokvadrantne radne krive turbomašine, koje su potrebne kod svih proračuna prelaznih režima u turbomašinskim sistemima. U literaturi se po pravilu koriste sledeće krive: Stepanoff, A. J. (1959) - Radial und Axialpumpen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH [1]; Donsky, B. (1961) - Complete pump characteristics and the effects of specific speeds on hydraulic transients. J Basic Eng, Trans ASME, pp.685-699. [2]; Chaudhry, M. H. (1979) -Applied hydraulic transients. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA. [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) - Fluid transients in systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA [4]. Gdje su te radne karakteristike date samo za tri specifične brzine nq = 25(35), nq = 147, nq =261 (za jednu radijalnu, jednu poluaksijalnu i jednu aksijalnu turbomašinu). Projektanti sistema koriste krive najbliže analiziranoj mašini, čak i bez interpolacije. Poznato je da se mnoge aproksimacije koriste u proračunima prelaznih procesa, pa je skoro svaka od njih u međuvremenu u literaturi proučavana (nestacionarno trenje, brzina zvuka, interakcije fluidstruktura,...). Ono što je do sada nedovoljno istraženo i objavljeno u literaturi je uticaj (i kvalitativni i kvantitativni) varijacije specifične brzine - nq.

U disertaciji se na jednom mjestu, koriste podacima iz raspoložive literature, kao i novi koji su prvi put objavljeni, takođe predstavljen je skup Suterovih krivih dobijenih iz skupa četvorokvadrantnih karakteristika za 17 pumpnih-turbina sa sledećim vrijednostima nq (specifične brzine obrtanja): nq = 17.53 (otvor -26.8°) - Kina; nq = 20.73 (otvor -24 mm) -Kina; nq = 24.34 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor (-17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 $(otvor - 20^{\circ}) - Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) - Kina; nq = 38 (otvor - 24^{\circ}) - Kina; nq = 41.6$ (otvor - 36 mm) - Austrija; $nq = 41.9 (otvor - 20^{\circ}) - Kina; nq = 43.83 (otvor - 28 \text{ mm}) - Rusija;$ nq = 44.93 (otvor - 40 mm) - Kina; nq = 50 (otvor - 20.03°) - Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) -Kina; nq = 64.04 (otvor - 16 mm) – Rusija; kao i set Suterovih krivih (dobijen od seta četvorokvadrantnih karakteristika) za 21 pumpu sa sledećim nq: nq = 15.7 [5]; nq = 20.5 [7]; nq= 22.1 [5]; nq = 25 [2]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7]; nq = 41.8 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6]; nq = 100.56 [6]; 123 [6]; nq = 131 [6]; nq = 134 [6]; nq = 147 [2]; nq = 170 [6]; nq = 261 [2], preuzetih iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Thorley RD, Chaudry A 1996 [6]; Kittredge CP 1956 [7], i Donsky B 1961 [2].

Zatim je u disertaciji detaljno prikazan način i formule za preračunavanje četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} u Suterove krive, uz pregled načina iz literature Chaudhry MH (1979) **[3]**; Wylie EB & Streeter VL (1993) **[4]**; Thorley RD & Chaudry A (1996) **[6]**. Definisana je optimalna tačka za pumpni i turbinksi radni režim kod modela pumpnihturbina za različite nq. Analizirana je originalna Suterova metoda za preračunavanje četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} u Suterove krive, primijenjena u Thorley RD & Chaudry A (1996). *Pump characteristics for transient flow analysis*, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB **[6]**. U disertaciji su po prvi put prikazene Suterove krive za pumpe sa više različitih specifičnih brzina obrtanja. Takođe, u disertaciji je prikazana i analizirana originala Suterova metoda primijenjena na turbine, prikazanu u Zheng XB, Guo PC, Tong HZ, Luo XQ (2012). *Improved Suter-transformation for complete characteristic curves of pump-turbine*, Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China **[8]**.

Neki od daljih literaturnih izvora na koje se oslanja ova doktorska disertacija još su i: Brown RJ, Rogers DC. Development of Pump Characteristics from Field Tests. J Mech Des 1980; 102(4): pp.807-817. DOI: 10.1115/1.3254826 [5]. Thorley ARD. Fluid Transients in Pipeline Systems. 2nd ed. ISBN: 978-1-860-58405-3, March 2004, p.302 [9]. Li Z, Bi H, Karney B, et al. Three-dimensional transient simulation of a prototype pump-turbine during normal turbine shutdown. Hydraulic Res 2017: 55(4): pp.520-537. DOI: J 10.1080/00221686.2016.1276105 [10]. Chaudhry MH. Applied hydraulic transients. New York: Springer-Heidelberg Dordrecht (London), 2014 [11].

Dakle, u disertaciji se po prvi put prikazuje objedinjeno veliki broj Suterovih četvorokvadrantnih krivih za pumpne-turbine, i pumpe, svih sa različitom specifičnom brzinom obrtanja, i zatim je prikazana metodologija analize svih krivih, u cilju dobijanja opšte zakonitosti izgleda (oblika) krivih za različite *nq*. U tu svrhu su primijenjene metode statističke analize, interpolacije i regresije, i druge potrebne matematičke analize.

Primarni cilj disertacije je dobijanje Univerzalne Suterove krive za pumpne-turbine i pumpe zasnovana na sedamnest skupova Suterovih krivih za gore pomenute pumpne–turbine, kao i Univerzalne Suterove krive za pumpe zasnovana na dvadest i jednom setu Suterovih krivih za gore pomenute pumpe, koje su po prvi put objavljena u ovoj disertaciji.

Drugi cilj disertacije je teorijsko istraživanje i analiza različitih numeričkih modela za proračun prelaznih pojava u hidroturbinama. Podaci iz skupa Suterovih krivih za pumpe-turbine i pumpe su korišćeni kao ulazni podaci za proračun prelaznih procesa u postrojenjima u kojima su ugrađene pupme-turbine i pumpe. Za proračun prelaznih procesa korišćeni su sledeći program: program od - dr Dušana Obradovića, program od - Wylie EB & Streeter VL (1993) [4], program od - Chaudhry MH (1979) [3]. Tokom pisanja ove disertacije autor je stekao viša stručna znanja iz oblasti prelaznih procesa i doprinio razvoju matematičkih modela za proračun prelaznih procesa sa većim fokusom na samu turbomašinu, i njene kompletne četvorokvadrantne karakteristike.

Važna su i prethodna eksperimentalna istraživanja koja je kanditat sproveo i to: Eksperimentalno određivanje četvorokvadrantnih karakteristika u laboratorijama sa instalacijama pumpnih-turbina: u Beču – Austrija; i u Wuhanu - Kina u Ključnoj nacionalnoj laboratoriji za vodne resurse i hidroenergetiku Narodne Republike Kine. U navedenim laboratorijama nalaze se instalacije modela pumpnih-turbina, u laboratoriji u Beču nalazi se instalacija jedne pumpneturbine nq = 41,6 dok u laboratoriji u Wuhanu nalazi se instalacija dvije pumpne-turbine sa istim nq = 38 kod kojih su različiti geometrijski profili lopatica radnih kola i ulazne ivice. Detaljan prikaz ovih istraživanja dat je u ovoj disertaciji.

Na osnovu pregleda literature i stanja u istraživačkoj oblasti, disertacija se zasniva na sledećim osnovnim hipotezama:

- Eksperimentalne četvorokvadrantne krive vjerno opisuju radne režime pumpnih-turbina i pumpi i predstavljaju siguran osnov za analizu usmjerenu na zavisnost od specifične brzine obrtanja *nq*. Radi usmjerenja analize prvenstveno na ovaj uticaj, drugi manje uticajni parametri se nijesu uzimati u obzir u ovoj disertaciji.
- Statička obrada rezultata aproksimacije eksperimentalnih krivih radi dobijanja univerzalne matematičke zavisnosti uradila se sa dovoljnom tačnošću, tako da ne bude postojalo veće odstupanje u rezultatima proračuna prelaznih režima.
- Univerzalni matematički model četvorokvadrantnih radnih krivih je dovoljno jednostavan za buduću primjenu u praksi, pošto je njegovo programiranje i korišćenje je veoma lako i koristiće se umjesto datoteka za pojedine pumpe i interpolaciju podataka.

Imajući u vidu složenost prikupljanja brojnih podataka, njihove analize i obrade, kao i matematičko modeliranje, u ovoj doktorskoj disertaciji korišćene su sledeće metoda:

- Organizovanje podataka i njihova analiza, preračunavanje i crtanje različitih dijagrama radi poređenja i pripreme za analizu – računarske metode. Pritom dio podataka je iz sopstvenih mjerenja, što znači da bi se koristile i – eksperimentalne metode, kao i metode statičke obrade tih podataka.
- Računarska i analitička obrada podataka i dijagrama, kako uopšte, tako i po pojedinim parametrima statistička i matematička analiza.
- Formiranje algoritma za generalizaciju jednačina kojima se vrši modeliranje računarske metode i matematička analiza.
- Primjena metode i dobijanje univerzalne zakonitosti metode za programsku implementaciju algoritma računarske metode.
- Primjena univerzalne zakonitosti njeno testiranje na primjerima iz prakse računarske metode.

Naučni doprinos, kao rezultat istraživanja u okviru ove disertacije, je sledeći:

- Definisanje metodologije za kreiranje univerzalnih (opštih, generalisanih) jednačina za radne krive pumpnih-turbina i pumpi koje obuhvataju uticaj specifične brzine obrtanja.
- Definisanje univerzalne zakonitosti kao novog matematičkog modela četvorokvadrantnih radnih krivih pumpnih-turbina i pumpi.

Stručni doprinos se ogleda u primjeni izvedenog modela na slučajeve iz prakse – testiranje validnosti modela i analiza odstupanja.

Ključne riječi:

- Pumpe-turbine, Pumpe, Četvorokvadrantne karakteristike, Suterove krive, Prelazni procesi, Hidrailčki udar, Specifična brzina obrtanja, Univerzalne (opšte, generalisane) jednačine za radne krive pumpnih-turbina i pumpi koje obuhvataju uticaj specifične brzine obrtanja.

Naučna oblast:

- Naučna oblast disertacije je oblast hidrauličnih mašina i energetskih sistema (primijenjena mehainka fluida).

Uža naučna oblast:

- Ponašanje hidrauličnih mašina i sistema u prelaznim procesima.

The mathematical model of the universal four-quadrant working curve of hydraulic machines depending on the specific speed of rotation and applied in calculations of transient modes

Summary.

The subject of the dissertation research is the analysis of transisent (unsteady) regimes in hydropower plants, especially in hydropower plants with built-in pump-turbines and pupm stations with installations of pumps. Bearing in mind the pronounced influence of the four– quadrant operating curves of turbomachines on these regimes, the influence of the shape of the operating curves of pupm-turbines and pumps on the transient process is analysed in particular, as well as the influence of the specific speed of rotation on the shape of the operating surves.

The scientific goal of the dissertation is the development of a methodology for creating universal (general, generalized) equations (analytical expressions) for pump-turbine operating curves and pump operating curves that include the influence of specific rotational speed. It is necessary to develop a methodology for the analysis of a large number of experimental data, to systematize the results and make a synthesis into a general legality. The final gola and expected contribution is a new method (obtained by the application of other scientific methods) which defines the universal regularity (equation, analytical expression) of four-qudrant operating curves in relation to the specific speed parameter, which would further be generally used for calculations in professional application to real plants. Also, the newly obtained model was practically applied and the obtained results were compared with the experimental ones.

Scientific area of PhD dissertation is the area of hydraulic machines and power systems (applied fliud mechanics) i.e. behaviour of hydraulic units and systems in transient regimes. The subject of research are the four-quadrant operating curves of turbines and pumps, which are required in all calculations of transients regimes in turbine systems and pump system. In the literature, as a rule, the following curves are used: Stepanoff, A. J. (1959) - Radial und Axialpumpen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH. [1]; Donsky, B. (1961) - Complete pump characteristics and the affects of specific speeds on hydraulic transients. J Basic Eng, Trans ASME, pp. 685-699. [2]; Chaudhry, M. H. (1979) - Applied hydraulic transients. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA. [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) - Fliud transients in systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA [4]. Where these operating characteristics are given only for three specific speeds nq = 25 (35), nq = 147, nq = 261 (for one radial, one semi-axial and one axial turbine). System designers use the curves closest to the analysed unit, even without interpolation. It is known that many approximations are used in calculations of transient processes, so almost every one of them has been studied in the literature (unsteady friction, sound speed, fluid-structure interactions..). What has so far been insufficiently investigated and reported in the literature is the influence (both qualitative and quantitative) of specific velocity variation.

In the dissertation in one place was presented, using data from the available literature, as well as new ones that will be published for the first time, a set of Suter curves obtained from a set of four-quadrant characteristics for 17 pump-turbines with the following nq values (specific rotation speeds): nq = 17.53 - Opening – (26.8°) – China; nq = 20.73 (opening – 24 mm) – China; nq = 24.34 (opening – 24 mm) – China; nq = 24.8 (opening – 26 mm) – USA; nq = 26.24 (opening – 17.5°) – China; nq = 27 (opening – 24 mm) – Serbia; nq = 28.6 (opening - 18°) – USA; nq = 30.95 (opening - 20°) – China; nq = 35.89 (opening – 33 mm) – China; nq = 38 (opening - 24°) – China; nq = 41.6 (opening – 36 mm) - Austria; nq = 41.9 (opening – 20°) – China; nq = 56 (opening – 40 mm) – China; nq = 50 (opening – 20.03°) – China; nq = 56 (opening – 40 mm) – China; nq = 25.2 [2]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7]; nq = 41.8 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; Str. 8 od 600

nq = 76.21 **[6]**; *nq* = 85.21 **[5]**; *nq* = 96.85 **[6]**; *nq* = 100.56 **[6]**; *nq* = 123 **[6]**; *nq* = 131 **[6]**; *nq* = 134 **[6]**; *nq* = 147 **[2]**; *nq* = 170 **[6]**; *nq* = 261 **[2]**, obtained from works of Brown RJ, Rogers DC 1980 **[5]**; Thorley RD, Chaudry A 1996 **[6]**; Kittredge CP 1956 **[7]**, and Donsky B 1961 **[2]**.

Then the method and formulas for recalculating the four-quadrant characteristics Q_{11} , n_{11} , and M_{11} , into Suter curves were presented in detail, with an overview of the method from the literature of Chaudhry MH (1979) [3]; Wylie EB & Streeter VL (1993) [4]; Thorley RD & Chaudry A (1996) [6]. The optimal point for the pump and turbine operating mode in the pump-turbine model for different nq is defined. The original Suter method for converting the four-quadrant characteristics Q_{11} , n_{11} , M_{11} into Suter curves, applied in Thorley RD & Chaudry A (1996), was analyzed. *Pump characteristics for transient flow analysis, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB* [6]. In the dissertation, for the first time, Suter's curves for pumps with several different specific rotation speeds are presented. Also, the dissertation presented and analyzed the original Suter's method applied to turbines, presented in Zheng XB, Guo PC, Tong HZ, Luo XQ (2012). *Improved Sutertransformation for complete characteristic curves of pump-turbine*, Institute of Water Resources and Hydro- Electric Engineering, Xi'an University of Technology, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China [8].

Some of the further literature sources on which this doctoral thesis relies are also: Brown RJ, Rogers DC. *Development of Pump Characteristics from Field Tests*. J Mech Des 1980; 102(4): pp.807-817. DOI: 10.1115/1.3254826 [5]. Thorley ARD. *Fluid Transients in Pipeline Systems*. 2nd ed. ISBN: 978-1-860-58405-3, March 2004, p.302 [9]. Li Z, Bi H, Karney B, et al. *Three-dimensional transient simulation of a prototype pump-turbine during normal turbine shutdown*. J Hydraulic Res 2017; 55(4): pp.520-537. DOI: 10.1080/00221686.2016.1276105 [10]. Chaudhry MH. *Applied hydraulic transients*. New York: Springer-Heidelberg Dordrecht (London), 2014 [11].

Therefore, the dissertation presents for the first time a large number of Suter's fourquadrant curves for pump-turbines, pumps and turbines, all with different specific speed of rotation, and then show the methodology of analysis of all the curves, in order to obtain the general regularity of the appearance (shape) of the curves for different nq. For this purpose, the methods of statistical analysis, interpolation and regression, and other necessary mathematical analysis were applied.

The primary objective of the dissertation is to obtain a Universal Suter curve for pumpturbines based on seventeen sets of Suter curves for the above-mentioned pump-turbines, as well as a Universal Suter curve for pumps based on twenty-one sets of Suter curves for the abovementioned pumps, which are for the first time published in this dissertation.

The second goal of the dissertation is the theoretical research and analysis of various numerical models for the calculation of transient phenomena in hydro-turbines and pumps. Data from the set of Suter curves for pumps-turbines and pumps were used as input data for the calculation of transition processes in plants where pump-turbines and pumps are installed. The following program was used for the calculation of transition processes: the program by - PhD. Dušan Obradović, the program by - Wylie EB & Streeter VL (1993) [4], the program by - Chaudhry MH (1979) [3], as well as the commercial AFT Impulse program. During the writing of this dissertation, the candidate acquired higher professional knowledge in the field of transient processes and contributed to the development of mathematical models for the calculation of transient processes with a greater focus on the turbomachine itself, and its complete four-quadrant characteristics.

The previous experimental research conducted by the candidate is also important: Experimental determination of four-quadrant characteristics in laboratories with pump-turbine installations: in Vienna – Austria, and in Wuhan – China in the Key National Laboratory for Water Resources and Hydropower of the People's Republic of China. In the aforementioned laboratories, there are installations of pump-turbine models, in the laboratory in Vienna there is an installation of one pump-turbine nq = 41.6, while in the laboratory in Wuhan there are installations of two pump-turbines with the same nq = 38, where the geometrical profiles of the runner blades and intake adges are different. A detailed description of these researches is given in this dissertation.

Based on the literature review and the state of the research field, the dissertation work is based on the following established hypotheses:

- Experimental four-quadrant curves faithfully describe the operating regimes of pumpturbines and pumps and represent a safe basic for analysis focused on the dependence on the specific rotation speed of nq. In order to focus the analysis primarily on this influence, other less influential parameters are not taken into account in this dissertation
- The statistical processing of the results of the approximation of the experimental curves in order to obtain the univesal matchamtical dependence was done with sufficient accuracy, so that there will be no major deviation in the results of the calculation of transition modes.
- The universal mathematical model of four-quadrant operating curves is simple enough for future application in practice, since its programming and use is very easy and will be used instead of files for individual pumps and data interpolation.

Bearing in mind the complexity of collecting numerous data, their analysis and processing, as well as mathematical modeling, the following methods were used in this doctoral dissertation:

- Organization of data and their analysis, recalculation and drawing of various diagrams for comparison and preparation for analysis – computer methods. At the same time, part of the data is from own measurements, which means that experimental methods, as well as methods of statistical processing of these data, would be used.
- Computer and analytical processing of data and diagrams, both in general and by individual parameters statistical and methematical analysis.
- Formation of an algorithm for the generalization of equations that are used for modelling computer methods and mathematical analysis.
- Application of the method and obtaining universal legality methods for program implementation of the algorithm computer methods.
- Application of universal legality its testing on examples from practice computer methods.

The scientific contribution, as a result of the research within this dissertation, is as follows:

- Defining the methodology for creating universal (general, generalized) equations for pump-turbine operating curves and pump operating curves that include the influence of specific rotation speed.
- Defining universal regularity as a new mathematical model of four-quadrant pumpturbine operating curves and pumps operating curves.

The professional contribution is reflected in the application of the derived model to cases from practice - testing the validity of the model and analysis of deviations.

Keywords:

- Pump-turbines, Pumps, Four-quadrant characteristics, Suter curves, Transient processes, Water hammer, Specific rotational speed, Universal (general, generalized) equations for the operating curves of pump-turbines and pumps that include the influence of specific rotational speed.

Scientific area:

- The scientific field of the dissertation is the field of hydraulic machines and energy systems (applied fluid mechanics).

Narrower scientific area:

- Behavior of hydraulic machines and systems in transitional processes.

SADRŽAJ

	Ozr	nake		23	
1.	Uvo	od		25	
2.	Ten	Tema disertacije			
	2.1	Pred	met i cilj istraživanja	30	
	2.2	Preg	led literature	31	
3.	Pre	thodno	obavljena lična istraživanja	48	
	3.1	Eksp	perimentalna istraživanja	48	
	3.2	Ana	litička istraživanja	63	
	3.3	Nun	neričke metode	64	
4.	Prij	premni	dio analize podataka (dio istraživanja već obavljen)	68	
	4.1	Postu Četv	ıpak (metoda) dobijanja Suterovih krivih iz poznatih (izmjerenih) orokvadrantnih dijagrama	68	
	4.2	Prim litera	jer preračunavanja Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive (Klasična tura - Knapp, R. T. (Nov. 1937), Stepanoff, A. J. (1959))	72	
		4.2.1	Očitavanje podataka sa originalnih dijagrama (H/H* - Q/Q*) i (M/M* - Q/Q*) sa krivima za razne pozitivne i negativne procentualne vrijednosti (n/n*) za pumpu nq = $35(25)$ iz knjige Stepanoff (1959)	72	
		4.2.2	Ubacivanje podataka u MATLAB-u	75	
		4.2.3	Analitički izgled Četvorokvadrantnih krivih (H/H* - Q/Q*) i M/M* - Q/Q*)	76	
		4.2.4	Analitički izgled Četvorokvadrantnih krivih (n/n* - Q/Q*) sa presjecima H i M	81	
		4.2.5	Preračunavanje u Suterov oblik krivih	84	
5.	Istra (pur	aživanj npe) - (e analitičke veze u podacima za radne krive date u jednom kvadrantu Klasična literatura – Stepanoff, A. J. (1957), Pfleiderer, C. (1961))	87	
	5.1	Regres	ija	87	
	5.2	Detalji	postupka određivanja analitičke veze	90	
	5.3	Nalaže Stepan	nje analitičke veze za krive poznate iz klasične literature – primjer off, A. J. (1957)	93	
		5.3.1 1 I	Numerički model (1) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za k poznate iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957)	rive 93	
		5.3.2 J	lednačina zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela (1) u programu Matlab	95	

	5.3.3 Numerički model (2) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957)
	5.3.4 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela (2) u programu Matlab
	 5.4 Nalaženje analitičke veze za krive poznate iz klasične literature – primjer Pfleiderer, C. (1961)
	5.4.1 Numerički model (3) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Pfleiderer, C. (1961) 100
	5.4.2 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela (3) u programu Matlab 102
	5.4.3 Numerički model (4) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Pfleiderer, C. (1961) 103
	5.4.4 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela (4) u programu Matlab 106
6.	Istraživanje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) u podacima za radne krive date u četiri kvadranta za osam modela ((pumpi) iz klasične literature – primjer Thorley, D. R. & Chaudry, A.(1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) – za Wh karakteristiku
	6.1 Interpolacija (splajn) 107
	6.2 Detalji postupka i varijante
	6.3 Primjeri 115
	6.3.1 Nalaženje analitičke veze postupkom regresije za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)
	(Varijanta 1) 115
	 (Varijanta 1)

6.3.3.1	Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za Wh karakteristiku od nq iz			
	razvijenog numeričkog modela (Varijante 3)	127		

	6.3.4	Nalaženje analitičke veze postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive <i>Wh</i> karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) (Numerički model $1 - nq$ -ovi modela) – Varijanta 4		
		6.3.4.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za <i>Wh</i> karakteristike od <i>nq</i> iz razvijenog Numeričkog modela 1 – Varijanta 4		
	6.3.5	Nalaženje analitičke veze postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive <i>Wh</i> karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) (Numerički model 2 – novi <i>nq</i> -ovi) – Varijanta 5		
		6.3.5.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za <i>Wh</i> karakteristiku od <i>nq</i> iz razvijenog Numeričkog modela 2 – Varijanta 5		
7.	Nalaženje <i>Wm</i> karal modela ra prikupio o	analitičke veze (univerzalne zakonitosti) postupkom regresije za krive <i>Wh</i> i steristike u četiri kvadranta za jedan model radijalne pumpe i sedam adijalnih pumpnih turbina za koje je autor ove doktorske disertacije osnovne podatke i izvršio preračunavanje		
	7.1 Prona model primje	laženje analitičke veze sa regresionim postupkom za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> krive za sedam a radijalnih pumpi-turbina i jedan model radijalne pumpe (Varijanta 6 - Ovaj er je urađen sa Polinomima 3, 3, 7 reda)163		
	7.2 Unive	rzalne jednačine Wh i Wm (polinomi 3, 3, 7) – Varijanta 6 166		
8.	Nalaženje <i>Wm</i> karak modela ra prikupio o	analitičke veze (univerzalne zakonitosti) postupkom regresije za krive <i>Wh</i> i teristike u četiri kvadranta za šest modela radijalnih pumpi i trinest dijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije snovne podatke i izvršio preračunavanje		
	8.1 Pronal krive V radijal funkci karakte model	aženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela nih pumpnih-turbina (Varijanta 7 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom jom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za <i>Wh</i> eristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov od 5 pikova za <i>Wm</i> karakteristiku)		
		8.1.1 Detalji postupka i varijante		

8.1.2	Univezalna Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova – Varijanta 7
8.1.3	Univezalna Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova – Varijanta 7
8.2 Pronalaženje krive <i>Wh</i> i W radijalnih pu funkcijom 3 Karakteristik model od 4 p	e analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za Vm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela umpnih-turbina (Varijanta 8 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh ku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov pika za Wm karakteristiku)
8.2.1	Detalji postupka i varijante
8.2.2	Univezalna Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika – Varijanta 8
8.2.3	Univezalna Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika – Varijanta 8
8.3 Pronalaženje krive <i>Wh</i> i W radijalnih pu funkcijom 3 karakteristik	e analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za Vm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela umpnih-turbina (Varijanta 9 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wh u, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za Wm karakteristiku) 274
8.3.1	Detalji postupka i varijante
8.3.2	Univezalna Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika – Varijanta 9
8.3.3	Univezalna Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 7 reda – Varijanta 9 325

8.4	Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 10 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku)	
	8.4.1	Detalji postupka i varijante
	8.4.2	Univezalna Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda – Varijanta 10 375
	8.4.3	Univezalna Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda – Varijanta 10 376
8.5	Pronalaženje krive <i>Wh</i> i <i>W</i> radijalnih pu funkcijom 4 reda i Polino	analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za <i>m</i> karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela mpnih-turbina (Varijanta 11 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom reda i Polinomom 9 reda za <i>Wh</i> karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 mom 9 reda za <i>Wm</i> karakteristiku)
	8.5.1	Detalji postupka i varijante
	8.5.2	Univezalna Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda – Varijanta 11 428
	8.5.3	Univezalna Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda – Varijanta 11 430
8.6 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regra krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 12 – Ovaj primjer je ura funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Fu reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika		analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za <i>m</i> karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela mpnih-turbina (Varijanta 12 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom reda i Polinomom 9 reda za <i>Wh</i> karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 vom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za <i>Wm</i> karakteristiku)
	8.6.1	Detalji postupka i varijante
	8.6.2	Univezalna Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od <i>nq</i> dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda – Varijanta 12 483

	8.6.3 Univerzali <i>nq</i> dobijen Furijerovo model od 1	a Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od i iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa n funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov pika – Varijanta 12
8.7	Pronalaženje analitičke krive <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakter radijalnih pumpnih-turb funkcijom 4 reda i Polin reda i Polinomom 6 reda	eze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za stike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela na (Varijanta 13 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom omom 8 reda za <i>Wh</i> karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 za <i>Wm</i> karakteristiku)
	8.7.1 Detalji pos	upka i varijante 486
	8.7.2 Univerzalı <i>nq</i> dobijer Furijerovo	a Jednačina za <i>Wh</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od i iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa n funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda – Varijanta 13 536
	8.7.3 Univerzalı <i>nq</i> dobijer Furijerovo	a Jednačina za <i>Wm</i> karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od i iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa n funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda – Varijanta 13 537
Pri zak (na	imjena Univerzalnih Ječ konitosti) u proračunima a primjerima iz prakse) i	ıačina za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakteristike (univerzalne prelaznih procesa na radijalnim hidrauličnim mašinama analiza rezultata
9. 1	1 Analiza uticaja specifič procesa na pumpnoj ins modelskim ispitivanjim urađen sa Polinomima 2 programu Matlab za pro	e brzine (<i>nq</i>) na rezultate dobijene proračunom prelaznih alaciji (vrijednosti za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakteristike dobijene i i iz Univerzalne Jednačine iz Varijante 6 - Ovaj primjer je , 3, 7 reda, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u račun prelaznih procesa)
9.2	Analiza uticaja specifičn procesa na pumpnoj inst modelskim ispitivanjima urađen sa – Furijerovor model od 5 pikova za W funkcijom 5 reda – Gau razvijenom numeričkom	e brzine (<i>nq</i>) na rezultate dobijene proračunom prelaznih ilaciji (vrijednosti za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakteristike dobijene i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 7 – Ovaj primjer je funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom ov model od 5 pikova za <i>Wm</i> karakteristiku, koriste se u modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa)
9.3	3 Analiza uticaja specifič procesa na pumpnoj ins modelskim ispitivanjim urađen sa – Furijerovor model od 3 pika za Wh funkcijom 4 reda – Gau razvijenom numeričkor	e brzine (<i>nq</i>) na rezultate dobijene proračunom prelaznih alaciji (vrijednosti za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakteristike dobijene i i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 8 – Ovaj primjer je funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom ov model od 4 pika za <i>Wm</i> karakteristiku, koriste se u modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa)

9.

- 9.5 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 10 Ovaj primjer je urađen sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).
- 9.6 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 11 Ovaj primjer je urađen sa Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

10.

	10.3 Diskusija o uticaju specifične brzine na prelazne procese na PSP Bajina Bašta 582			
	10.4 Izračunate performanse karakteristika i njihovo fizičko ponašanje 582			
	10.5 Putanja-trajektorija radne tačke tokom prelaznih procesa i diskusija o režimima rada			
	10.6 Numerička i eksperimentalna nesigurnost			
	10.7 Zaklju	čak 590		
11.	Zaključci iz	z istraživanja tokom izrade doktorske disertacije 591		
12.	Opšti zaklj	učci doktorske disertacije 594		
13.	Literatura			
Prilo	ozi			
	Prilog - P1	Stručni prilozi (detaljna analiza navedenih referenci) 1 – 24		
	Prilog – P2	Tabela sa preračunatim podacima Krive n/n* = 100% i Krive n/n* = -100% iz Stepanoff 1959 u Suterove krive <i>Wh</i> i <i>Wm</i> , saglasno postupku iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. 1993		
	Prilog - P3	Regresija 1-4		
	Prilog – P4	Kodovi i dijagrami razvijenih numeričkih modela (1), (2), (3), (4) na osnovu krivih modela pumpi za samo jedan kvadrant iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957), Pfleiderer, C. (1961) 1 – 31		
	Prilog – P5	Interpolacija (splajn) 1 – 2		
	Prilog – P6	Excel tabela sa svim podacima za <i>Wh</i> i <i>Wm</i> karakteristiku, za sedamnest modela pumpnih turbina i dvadest jedan model pumpi $1-2$		
	Prilog – P7	Kodovi razvijenih numeričkih modela Varijanti 1, 2, 3 na osnovu krivi osam modela pumpi poznatih iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)		
	Prilog – P8	Kodovi razvijenih numeričkih modela Varijanta 4, 5 (Numerički model $1 - nq$ -ovi modela, Numerički model $2 - novi nq$ -ovi) postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980);		
	Prilog – P9	Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 6 (Polinomi 3, 3, 7) na osnovu krivih <i>Wh</i> karakteristika i <i>Wm</i> karakteristika za jedan model pumpe i za sedam modela pumpnih-turbina		

Prilog – P1	 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 7 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za <i>Wh</i> karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za <i>Wm</i> karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina
Prilog – P1	 1 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 8 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 3 reda – Gausov model od 3 pika za <i>Wh</i> karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 4 reda – Gausov model od 4 pika za <i>Wm</i> karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih- turbina
Prilog – P1	2 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 9 (Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za <i>Wh</i> karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za <i>Wm</i> karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina
Prilog – P1	3 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 10 (Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina
Prilog – P1	 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 11 (Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za <i>Wh</i> karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za <i>Wm</i> karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina
Prilog – P1	 5 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 12 (Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za <i>Wh</i> karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za <i>Wm</i> karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina
Prilog – P1	6 Kod razvijenog numeričkog modela pumpne-turbine i pumpe – Varijanta 13 (Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku) za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina

- Prilog P20 Kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za pet modela radijalnih pumpi i za dvanest modela radijalnih pumpnih-turbina *nq*) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika *Q*₁₁, *n*₁₁, *M*₁₁, i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* (Univerzalne jednačine iz Varijante 9 Ovaj primjere je urađen sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda Gausov model od 4 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 7 reda za *Wm* karakteristiku)
- Prilog P21 Kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za pet modela radijalnih pumpi i za dvanest modela radijalnih pumpnih-turbina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* (Univerzalne jednačine iz Varijante 10

- Prilog P23 Kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za pet modela radijalnih pumpi i za dvanest modela radijalnih pumpnih-turbina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* (Univerzalne jednačine iz Varijante 12 Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wm* karakteristiku) 1 – 99
- Prilog P25 Kod numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnim-turbinama 1 i 2 RHE Bajina Bašta 1–127
- Prilog P27 Suterove krive Wh Wm (Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993)) 1
- Prilog P28 Suterove Krive Wh Wm (Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996)) 1-14

Prilog – P30 Biografski pril	lozi 1 – 5
P30.1	Kandidat 1
P30.1.1	Biografija 1
P30.1.2	Stečeno naučnoistraživačko iskustvo 2
P30.1.3	Radovi 4

Oznake

nq [-]	Specifični broj obrtaja
<i>D</i> [m]	Prečnik radnog kola
<i>H</i> [m]	Radni pad
H_R [m]	Nominalni pad
$Q \ [m^{3}/s]$	Protok
$Q_R [m^3/s]$	Nominalni protok
<i>P</i> [kW]	Snaga
N [min ⁻¹]	Brzina pumpe u svakom trenutku
N_R [min ⁻¹]	Nominalna brzina pumpe
<i>M</i> [Nm]	Moment inercije pumpe u svakom trenutku
M_R [Nm]	Nominalni moment inercije
v [-]	Bezdimenziona varijabla protoka
h [-]	Bezdimenziona varijabla pada
α [-]	Bezdimenziona varijabla brzine
eta [-]	Bezdimenziona varijabla momenta
<i>a</i> [m/s]	Brzina talasa
g [m/s ²]	Ubrzanje uslijed gravitacije
Wh [-]	Bezdimenzionalna karakteristika pada
Wm [-]	Bezdimenzionalna karakteristika obrtnog momenta
K [-]	Konstanta pumpe = (91,600H_RQ_R)/(WR ² $\eta_R N_R^2$)
η_R [1; %]	Nominalni stepen efikasnosti
<i>L/a</i> [s]	Vrijeme putovanja talasa
<i>L</i> [m]	Dužina
θ [⁰]	Ugao
Δx [-]	Korak

ρ [kg/m ³]	Gustina tečnosti
E [J/kg]	Energija
<i>Q</i> ₁₁ [-]	Jedinični protok
<i>n</i> ₁₁ [-]	Jedinični broj obrtaja
<i>M</i> ₁₁ [-]	Jedinični moment
A [m ²]	Površina poprečnog presjeka
c_m [m/s] = Q/A	Meridijanska bzina
$u [m/s] = D\pi n$	Obimska brzina
α [⁰]	Ugao otvora lopatica sprovodnog aparata
ψ [-]	Koeficijent pada = $1/Ku^2$
φ [-]	Koeficijent protoka = c_m/u
λ [-]	Koeficijent momenta = KM/Ku^2
λο [-]	Koeficijent momenta pri nula otvoru
Δp [Pa]	Amplituda pulsacija pritiska
Ku [-]	Faktor brzine = u/sqrt(2E)
<i>Kcm</i> [-]	Faktor protoka = $c_m/sqrt(2E)$
<i>KM</i> [-]	Faktor momenta = $8M/(\pi\rho ED^3)$
y [mm]	Otvor lopatica sprovodnog aparata

1. Uvod

U ovoj doktorskoj disertaciji pod nazivom – Matematički model univerzalne četvorokvadrantne radne krive hidrauličnih mašina zavisan od specifične brzine obrtanja i primenjen u proračunima prelaznih režima, urađeno je sledeće.

Opisana je detaljno metoda sa formulama, početnim, među i krajnjim dijagramima prelaska sa $H/H^*-Q/Q^*$, $M/M^*-Q/Q^*$ dijagrama na $n/n^*-Q/Q^*$ dijagram unutar kojeg su prikazane krive *H* i *M* sa raznim pozitivnim i negativnim procentualnim vrijednostima i koji je zatim preveden na Suterove dijagrame. Pritom je priložen kao klasičan primjer prelazak sa $H/H^*-Q/Q^*$, $M/M^*-Q/Q^*$ dijagrama na $n/n^*-Q/Q^*$ dijagram unutar kojeg su prikazane krive *H* i *M* sa raznim procentualnim vrijednostima, navedeni dijagrami su preuzeti iz literature od autora Knapp, R. T. (Nov. 1937) [12]; Stepanoff, A. J. (1959) [1] i zatim su navedeni dijagrami prevedeni u Suterove dijagrame, navedeni primjer se odnosi za pumpu sa nq = 25 (35).

Urađena je modifikacija formula za preračunavanja četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} u Suterove krive, navedeni su primjeri preračunavanja iz literature Chaudhry, M. H. (1979) **[3]**; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) **[4]**; Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996) **[6]**. Definisana je optimalna tačka za pumpni i turbinski radni režim kod modela pumpnih-turbina za različitim nq.

Izanalizirana je metoda originalni Suter za preračunavanje četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} u Suterove krive, koja je primijenjena u radu Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996). *Pump characteristics for transient flow analysis*, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB [6]. I po prvi put u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazane Suterove krive samo za pumpe sa više različitih specifičnih brzina obrtanja, skup Suterovih krivih je dobijen iz skupa četvorokvadranrnih karakteristika za 21 pumpu sa sledećim nq: nq = 15.7 [5]; nq = 20.5 [7]; nq = 22.1 [5]; nq = 25 [2]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7]; nq = 41.8 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 261 [2], preuzete iz radova od Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) [5]; Thorley, R.D, Chaudry, A. (1996) [6]; Kittredge, C.P. (1956) [7], i Donsky, B. (1961) [2].

Takođe je u ovoj disertaciji izanalizirana i diskutovana proširena originalna Suterova metoda primijenjena na turbine, o koja je detaljno prikazana i objašnjena u radu Zheng, X. B. ^{1,2}, Guo, P. C. ^{1,2}, Tong, H. Z. ¹ and Luo, X. Q. ^{1,2} (2012). *Improved Suter-transformation for complete characteristic curves of pump-turbine;* ¹ Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, No.5 South Jinhua Road, Xi'an, 710048, China; ² FINE Institute for Hydraulic Machinery, A-16F, Huaxing Times Plaza, No.478 Wensan Rd, Hangzhou, 310013, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China [**8**].

U disertaciji je po prvi put prikazan skup Suterovih krivih dobijenih iz skupa četvorokvadrantnih karakteristika za 17 modela pumpnih-turbina sa sledećim vrijednostima nq (specifične brzine obrtanja): nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina: nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.34 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 41.9 (otvor - 20°) – Kina; nq = 50 (otvor - 20°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 64.04 (otvor - 16 mm) – Rusija, i zatim su se koristili za analizu postojanja opštije zakonitosti u obliku dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine obrtanja nq.

Za analizu postojanja opštije zakonitosti u obliku dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine obrtanja, koristio se postupak peglanja metodama Regresije i Spline.

Cilj doktorske disertacije je analiza Četvorokvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11} , n_{11} , M_{11}) sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. U pumpnom i turbinskom režimu radne

krive (O11, n11, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnje izučeni u literaturi nego za kompletne Četvorokvadrantne krive. Zbog toga su preuzimani ti podaci da bi se utvrđivanje zakonitosti i na njima provjeravalo. Zato se pošlo od analize postupka preračunavanja krivih za sva četiri kvadranta i dat je primjer poznat kao klasičan u svjetskoj literaturi (Knapp, R. T. (Nov. 1937) [12] - Stepanoff, A. J. (1959) [1] - Suter, P. (1966) [13]). Pritom, pošlo se od originalnog rada Knapp, R. T. (Nov. 1937): Complete Characteristics of Centrifugal Pumps and their Use in the Prediction of Transient Behavior. Trans. A. S. M. E, pp. 683-689 [12], i originalnog postupka preračunavanja, a zatim su analizirane i modifikacije postupka preračunavanja. U literaturi ne postoji veliki broj podataka o Četvorokvadrantnim krivima pumpi osim za tri specifična broja obrtaja. Prikazuju se sve relevantne reference koje obrađuju neku Četvorokvadrantnu krivu i preuzimaju se ti podaci za potrebnu dalju analizu. U mnogim projektnim imamo specifičnu situaciju da krive kompletnih karakteristika pumpe nijesu dostupne od proizvođača, tako da se u kompjuterskim programima za simulacije prelaznih procesa moraju kompletirati nizovi za Wh i Wm karakteristike iz drugih dostupnih modelskih test podataka. Ove krive imaju tendenciju da imaju slične oblike za iste specifične brzine, a zatim se može proširiti upoređivanje ovih krivih sa podacima krivih za druge specifične brzine. Ovo je neizvjesna procedura, a rezultati studija o prelaznim procesima koje koriste takve podatke moraju se uzeti sa oprezom.

U disertacije su obrađeni predmet i cilj istraživanja, navedeno je objašnjenje da kao po pravilu se za sve proračune prelaznih pojava na sistemima sa turbomašinama koriste četvorokvadrantne krive navedene u knjizi Stepanoff, A. J. (1959) - *Radial und Axialpumpen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH [1]; u radu Donsky, B. (1961) - *Complete pump characteristics and the effects of specific speeds on hydraulic transients*. J Basic Eng, Trans ASME, pp.685-699 [2]; u knjizi - Chaudhry, M. H. (1979) *Applied hydraulic transients*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA [3]; u knjizi – Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993). *Fluid transients in systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA [4].

Pod stavkom pregled literature, urađena je analiza i proučavanje onoga što je urađeno u prethodnom periodu, predstavljeni su najvažniji djelovi iz navedenih radova i knjiga kao i lična zapažanja i zaključci autora ove doktorske disertacije: Knapp, R. T. (Nov. 1937): Complete Characteristics of Centrifugal Pumps and their Use in the Prediction of Transient Behavior. Trans. A. S. M. E, pp. 683-689 [12]; Donsky, B. (1961). Complete pump characteristics and the effects of specific speeds on hydraulic transients. J Basic Eng, Trans ASME, pp.685-699 [2]; Chaudhry, M. H. (1979). Applied hydraulic transients. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993). Fluid Transients in Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632 [4]; Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996). Pump characteristics for transient flow analysis, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB [6]; Dörfler, P. K. (2010). Improved Suter Transform for Pump-Turbine Characteristics, R&D Department, Andritz Hydro Ltd. P.O. Box 2602, 8021 Zurich, Switzerland [14]; Zheng, X. B. ^{1,2}, Guo, P. C. ^{1,2}, Tong, H. Z. ¹ and Luo, X. Q. ^{1,2} (2012). Improved Sutertransformation for complete characteristic curves of pump-turbine; ¹ Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, No.5 South Jinhua Road, Xi'an, 710048, China; ² FINE Institute for Hydraulic Machinery, A-16F, Huaxing Times Plaza, No.478 Wensan Rd, Hangzhou, 310013, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China [8]; Li, H. Lin, H. Huang, W. Li, J. Zeng, M. Ma, J. Hu, X. A. (2021). New Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of Centrifugal Pumps. Energies 2021, 14, 8580 [15]; Yu, J. Akoto, E. Degbedzui, D. K. Hu, L. (2023). Predicting Centrifugal Pumps' Complete Characteristics Using Machine Learning. Processes 2023, 11, 524. https://doi.org/10.3390/pr11020524 [16]; Zhou, W. Yu, D. Wang, Y. Shi, J. Gan, B. (2023). Research on the Fluid-Induced Excitation Characteristics of the Centrifugal Pump Considering the Compound Whirl Effect. Facta Univ. Ser. Mech. Eng. 2023, 21, 223–238. https://doi.org/10.22190/FUME210528065Z [17]; Zhou, W. Wang, Y. Li, C.

Zhang, W. Wu, G. (2020). Analysis of Fluid-Induced Force of Centrifugal Pump Impeller with Compound Whirl. Alex. Eng. J. 2020, 59, 4247–4255. [18]; Walters, T. W. Dahl, T. Rogers, D. (2020). Pump Specific Speed and Four Quadrant Data in Water hammer Simulation—Taking Another Look" auxiliary data files. In Proceedings of the ASME 2020, Pressure Vessels and Piping Conference, Online, 3 August 2020; Volume 4. [19]; Li, H. Lin, H. Huang, W. Li, J. Zeng, M. Ma, J. Hu, X. A. (2021). New Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of Centrifugal Pumps. Energies 2021, 14, 8580. [20]; Zhang, L. Xu, H. Yu, Y.H. (2007). Fitting method for pump complex characteristic curve based on B-spline. Drain. Irrig. Mach. 2007, 25, 50-53. [21]; Shao, W. Y. Zhang, X. (2004). A new simulation method of complete characteristic curves of reversible pump turbine moving least square approximation. J. Hydroelectr. Eng. 2004, 23, 102–106. [22]; Wang, L. Li, M. Wang, F.J. Wang, J.B. Yao, C.G. Yu, Y.S. (2017). Study on three-dimensional internal characteristics method of Suter curves for double-suction centrifugal pump. J. Hydraul. Eng. 2017, 48, 113-122. [23]; Gros, L. Couzinet, A. Pierrat, D. Landry, L. (2011). Complete pump characteristics and 4 - quadrant representation investigated by experimental and numerical approaches. In Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2011 Joint Fluids Engineering Conference, Hamamatsu, Japan, 24-29 July 2011; Volume 1, pp. 359-368. [24]; Thanapandi, P. Prasad, R. (1995). Centrifugal pump transient characteristics and analysis using the method of characteristics. Int. J. Mech. Sci. 1995, 37, 77– 89. [25]; Höller, S. Benigni, H. Jaberg, H. (2016). Investigation of the 4-Quadrant behaviour of a mixed flow diffuser pump with CFD-methods and test rig evaluation. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2016, 49, 032018. [26]; Huang, S. Qiu, G. Su, X. Chen, J. Zou, W. (2017). Performance prediction of a centrifugal pump as turbine using rotor-volute matching principle. Renew. Energy 2017, 108, 64–71. [27]; Wan, W. Huang, W. (2011). Investigation on complete characteristics and hydraulic transient of centrifugal pump. J. Mech. Sci. Technol. 2011, 25, 2583–2590. [28]; Lima, G. M. Luvizotto Júnior, E. (2017). Method to estimate complete curves of hydraulic pumps through the polymorphism of existing curves. J. Hydraul. Eng. 2017, 143, 04017017. [29]; Hu, X. Y. Yu, B. Guo, J. Wang, S. K. (2012). Visualization for predictable model of complete characteristic curve of pump. Fluid Mach. 2012, 3, 37-39. [30]; Zhu, M. L. Zhang, X. H. Zhang, Y. H. Wang, T. (2006). Study on prediction model of complete characteristic curves of centrifugal pumps. J. Northwest Sci-Tech. Univ. Agric. For. Nat. Sci. Ed. 2006, 4, 143-146. [31]; Yang, Y. S. Dong, R. Jing, T. (2010). Influence of Full Characteristic Curve on Pump-off Water Hammer and Its Protection. China Water Wastewater 2010, 26, 63-66. [32]; Huang, B. Wu, P. Liu, X. S. Feng, X. D. Yang, S. Wu, D. Z. (2020). Four-quadrant Full Characteristic Model Test of the ACP100 Reactor Coolant Pump. Fluid Mach. 2020, 48, 8-11. [33]; Huang, W. Yang, K. Guo, X. Ma, J. Wang, J. Li, J. (2018). Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of a Francis Pump-Turbine. Water 2018, 10, 205. [34]; Dai, C. Dong, L. Lin, H. Zhao, F. (2020). A Hydraulic Performance Comparison of Centrifugal Pump Operating in Pump and Turbine Modes. J. Therm. Sci. 2020, 29, 1594–1605. [35]; Wang, W. Guo, H. Zhang, C. Shen, J. Pei, J. Yuan, S. (2023). Transient characteristics of PAT in micro pumped hydro energy storage during abnormal shutdown process. Renew.Energy 2023, 209, 401-412. [36]; Brown, R. J. Rogers, D. C. (1980). Development of Pump Characteristics from Field Tests. J. Mech. Des 102(4) 807-817. [5]; Li, Z. Bi, H. Karney, B. Wang, Z. Yao, Z. (2017). Three-dimensional transient simulation of a prototype pump-turbine during normal turbine shutdown. J Hydraulic Res, 55(4), p. 520-537. [10]; Casartelli, E. Del Rio, A. Mangani, L. Schmid, A. (2022). Capturing the S-shape of pumpturbines by computational fluid dynamics simulations using an anisotropic turbulence model. Journal of Fluids Engineering, 144(2), 021203. [37]; Xia, L. S. Zhang, C. Z. Li, H. (2021). Influences of runner blade shape on the transient behaviours of pump-turbines in load rejection. Journal of Hydraulic Research, Volume 59, 2021 - Issue 3. [38]; Hu, J. Yang, J. Zeng, W. Yang, J. (2019). Constant-speed oscillation of a pump-turbine observed on a pumped-storage model system. Journal of Fluids Engineering, 141(5), 051109. [39]; Li, D. Qin, Y. Zuo, Z. Wang, H. Liu, S. Wei, X. (2019). Numerical simulation on pump transient characteristic in a model pumpturbine. Journal of Fluids Engineering, 141 (11), 111101. [40]; Ran, H. Luo, X. (2018). Experimental study of instability characteristics in pump - turbines. Journal of Hydraulic Research, 56(6), p. 871-876. [41]; Xiuli, M. Giorgio, P. Yuan, Z. (2018). Francis-type reversible turbine field investigation during fast closure of wicket gates. Journal of Fluids Engineering, 140(6), 061103. [42]; Xia, L. S. Cheng, Y. G. You, J. Zhang, X. Yang, J. Qian, Z. (2017). Mechanism of the S-shaped characteristics and the runaway instability of pump-turbines. Journal of Fluids Engineering, 139(3), 031101. [43]; Zhang, X. Cheng, Y. G. Xia, L. S. Yang, J. Qian, Z. (2016). Looping dynamic characteristics of a pump-turbine in the S-shaped region during runaway. Journal of Fluids Engineering, 138(9), 091102. [44]; Zeng, W. Yang, J. Hu, J. Yang, J. (2016). Guide-vane closing schemes for pump-turbines based on transient characteristics in S-shaped region. Journal of Fluids Engineering, 138(5), 051302. [45]; Cavazzini, G. Covi, A. Pavesi, G. Ardizzon, G. (2016). Analysis of the unstable behavior of a pump-turbine in turbine mode: Fluid-dynamical and spectral characterization of the S shape characteristic. Journal of Fluids Engineering, 138(2), 021105. [46]; Zeng, W. Yang, J. Guo, W. (2015). Runaway instability of pump-turbines in S-shaped regions considering water compressibility. Journal of Fluids Engineering, 137(5), 051401. [47]; Sun, H. Xiao, R. Liu, W. Wang, F. (2013). Analysis of S-characteristics and pressure pulsations in a pump-turbine with misaligned guide vanes. Journal of Fluids Engineering, 135(5), 051101. [48]; Huang, W. Yang, K. Guo, X. Ma, J. Wang, J. Li, J. (2018). Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of a Francis Pump-Turbine, Water, 10, 205. [49]; Pejovic, S. Krsmanovic, Lj. Jemcov, R. Crnkovic, P. (1976). Unstable Operation of High -Head Reversible Pump-Turbines. 8th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery Equipment and Cavitation, Leningrad, USSR, Paper III-2. [50]; Zeng, W. Yang, J. Cheng, Y. G. (2015). Construction of Pump -Turbine Characteristics at Any Specific Speed by Domain-Partitioned Transformation, ASME Journal of Fluids Engineering, 137(3), 031103. [51]; Simpson, A. R. Marchi, A. (2013). Evaluating the approximation of the affinity laws and improving the efficiency estimate for variable speed pumps. Journal of Hydraulic Engineering, 139(12), 1314-1317. [52]; Martin C. S. (2008). Pumped Storage, Section 12.14 of McGraw-Hill Pump Handbook, Fourth Edition, 2008. [53]; Suter P. (1966). Representation of pump characteristics for calculation of water hammer. Sulzer Technical Review, Research No. 66. pp 45-48 [13].

Navedena su prethodno obavljena lična istraživanja, prvo eksperimentalna istraživanja određivanja četvorokvadrantnih krivih karakteristika (N_{11}, Q_{11}, M_{11}) koja je autor disertacije obavio u laboratorijama sa instalacijama pumpnih-turbina u Beču - Austrija i Wuhan - Kina, u laboratoriji u Beču nalazi se instalacija jedne pumpne-turbine, dok u laboratoriji u Wuhan nalaze se instalacije dvije pumpne-turbine. Urađena su i analitička istraživanja, teorijske (matematičke) metode, data obrazloženja da se koriste parcijalne diferencijalne jednačine za hidraulički udar, i da su autori Chaudhry, M. H. (1979) [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4]; Dr Dušan Obradović, u svojim knjigama i radovima razvili matematičke modele za analizu stanja prelaznih procesa pri raznim radnim uslovima u hidroelektranama. Takođe je urađena analiza numeričkih metoda koje se koriste za rješavanje parcijalnih diferencijalnih jednačina koje opisuju hidraulički udar, postupke koje su razvili Chaudhry, M. H. (1979) [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4]; Dr Dušan Obradović. U knjigama i radovima od navedenih autora su diskutovane tehnike koje više odgovaraju kompjuterskoj analizi, kao što su implicitna metoda konačnih razlika i metoda karakteristika. Predstavljena su istraživanja koje je autor doktorske disertacije već obavio i koja su sastavni dio doktorske disertacije, dijagrame na kojima su predstavljene Suterove krive za šest Suterovih krivih za šest modela radijalni pumpi iz rada autora Thorley, R. D, & Chaudry, A. (1996). Pump characteristics for transient flow analysis, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB [6]. Navedeni su dijagrami sa Suterovim krivima za pumpe i pumpne turbine sa raznim vrijednostima nq, dobijenim iz Univerzalne Suterove jednačine za koje je autor ove doktorske disertacije razvio numerički Str. 28 od 600 model u programu Matlab. Navedeno je objašnjenje za kompletan postupak dobijanja numeričkih modela u programu Matlab koji su razvijeni za dobijanje prethodno navedenih Suterovih krivih.

Predstavljen je i plan istraživanja i struktura rada koji obuhvataju, skupljanje podataka četvoro-kvadrantnih dijagrama za modele pumpnih-turbina i pumpi sa različitim specifičnim brojem obrtaja – nq, postupak peračunavanja četvoro-kvadrantnih dijagrama sa modela u Suterove krive, i razvijanje numeričkih modela u programu Matlab za dobijanje Univerzalne Suterove Krive za pumpe i pumpne-turbine. Navedeni su i zaključci u kojima je dato obrazloženje da izradom ove doktorske disertacije očekuju se naučni i stručni doprinosi. Naučni doprinos je Jedinstvena Univerzalna Suterova kriva za pumpe i pumpne-turbine, koja nigdje do sada nije objavljena u literaturi i predstavlja originalnu matematičku krivu. Stručni doprinos je okupljanje svih podataka sa četvoro-kvadrantnih krivih za 21 model pumpi sa različitim nq, i 17 modela radijalnih pumpnih-turbina sa različitim specifičnim brojem obrtaja nq, na jedno mjesto i mogu biti peračunati u Suterov krive dostupni široj javnosti. Još jedan naučni doprinos disertacije je teorijsko istraživanje i analiza različitih numeričkih modela za proračun prelaznih pojava u hidro turbinama.

Pregled literature pokazuje da je u malom broju radova i knjiga analiziran uticaj specifične brzine hidrauličke mašine (nq) na rezultate dobijene tokom proračuna prelaznih procesa. Ova doktorska disertacija ima za cilj da to uradi za instalaciji sa radijalnim pumpama.

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe - pumpno postrojenje se sastoji od donjeg rezervoara, dvije paralelne pumpe, ventila, nizvodnog cjevovod pod pritiskom i nizvodnog rezervoara, preuzeto iz knjige [3] - Chaudhri (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike (Varijanta 6, Varijanta 7, Varijanta 8, Varijanta 9, Varijanta 10, Varijanta 11, Varijanata 12, Varijanta 13), za različite vrijednosti specifične brzine – nq. Izvršena je analiza uticaja specifične brzine (nq) na vrijednost rezultata dobijenih pri proračunu prelaznih procesa, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.

Dijagrami sa Suterovim krivama za pumpe i pumpne–turbine sa različitim vrijednostima *nq* dobijeni su iz Univerzalne Suterove Jednačine, za koju je autor ove doktorske disertacije razvio numerički model u MATLAB programu. U smislu inovativne i akademske vrijednosti ove doktorske disertacije, prvi put je predstavljen veliki broj Suterovih četvorokvadrantnih krivih za pumpne–turbine i pumpe sa različitim specifičnim brzinama rotacije *nq*, kao i metodologija za analizu krivih, a kako bi se dobio opšti zakon za oblik krivih pri različitim vrijednostima *nq*. Primarni cilj ove doktorske disertacije je bio da se dobije Univerzalna Suterova kriva za pumpne-turbine i pumpe na osnovu 13 skupova Suterovih krivih za pumpne-turbine i 6 skupova Suterovih krivih za pumpe (Varijanta 7, Varijanta 8, Varijanta 9, Varijanta 10, Varijanta 11, Varijanta 12, Varijanta 13). Eksperimentalne četvorokvadrantne krive vjerno opisuju režime rada pumpne-turbine i pumpe, što predstavlja validnu osnovu za analizu usmjerenu na njihovu zavisnost od specifične brzine rotacije *nq*. Statistička obrada rezultata aproksimacije za eksperimentalne krive je sprovedena da bi se dobile Univerzalne matematičke veze sa dovoljnom tačnošću, tako da nije uočeno veće odstupanje u rezultatima proračuna prelaznih režima. Izvedeni univerzalni matematički model za četvorokvadrantne operativne krive

je dovoljno jednostavan za buduće praktične primjene, jer njegovo programiranje nije previše složeno i lako se koristi. Naučni doprinos ove doktorske disertacije ogleda se u definisanju metodologije za određivanje univerzalnih (opštih ili generalizovanih) jednačina za radne krive pumpnih-turbina i pumpi s obzirom na uticaj specifičnih brzina rotacije - nq, definišući opšti zakon kao novi matematički model za takve krive. Stručni doprinos ove doktorske disiertacije ogleda se u primjeni izvedenog modela na praktične slučajeve u cilju provjere valjanosti modela i analize relevantnih odstupanja.

2. Tema disertacije

2.1 Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja su četvoro-kvadrantne krive turbomašina. Za sve proračune prelaznih pojava na sistemima sa turbomašinama, potrebne su četvoro-kvadrantne krive mašine. Gotovo po pravilu, koriste se krive navedene:

- 1. u knjizi Stepanoff, A. J. (1959). *Radial und Axialpumpen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH [1];
- u radu Donsky, B. (1961). Complete pump characteristics and the effects of specific speeds on hydraulic transients. J Basic Eng, Trans ASME, pp.685-699 [2];
- 3. u knjizi Chaudhry, M. H. (1979) *Applied hydraulic transients*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA [3];
- 4. u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993). *Fluid transients in systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA [4];

gdje su krive date samo za tri specifične brzine nq=25 (35), nq=147, nq=261 (jedna radijalna, jedna poluaksijalna i jedna aksijalna turbomašina).

Projektanti sistema koriste krive najbliže analiziranoj mašini, čak i bez interpolacije. Naravno da se mnoge aproksimacije koriste u proračunima prelaznih pojava fluida, ali gotovo svaka od njih je prostudirana u međuvremenu (nestacionarno trenje, brzine zvuka, interakcije tečnosti-struktura, ...), ali što se tiče širih saznanja do kojih se došlo, nema temeljne analize varijacije specifične brzine (i uticaja) koja je objavljena.

U disertaciji je predstavljen set Sutrovih krivih dobijen od seta četvoro-kvadrantnih karakteristika za 17 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq: nq = 17.53 (otvor - 26.8) °) – Kina; nq = 20.73 (otvor – 24 mm) – Kina; nq = 24.34 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 $(\text{otvor} - 26 \text{ mm}) - \text{U.S.A}; nq = 26.24 (\text{otvor} - 17.5^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 27 (\text{otvor} - 24 \text{ mm}) - \text{Srbija};$ nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 41.9 (otvor - 20°) - Kina; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) - Rusija; nq = 44.93 (otvor - 40 mm) - Kina; nq = 50 (otvor -20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 64.04 (otvor - 16 mm) – Rusija; kao i 21 set Četvoro-kvadrantnih karakteristika krivih za 21 model pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 20.5 [7]; nq = 22.1 [5]; nq = 25 [2]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7]; nq = 41.8[6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6]; nq = 100.56 [6]; *nq* = 123 **[6]**; *nq* = 131 **[6]**; *nq* = 134 **[6]**; *nq* = 147 **[2]**; *nq* = 170 **[6]**; *nq* = 261 **[2]**, preuzete iz radova od Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) [5]; Thorley, R.D, Chaudry, A. (1996) [6]; Kittredge, C.P. (1956) [7], i Donsky, B. (1961) [2]. Jedan od ciljeva disertacije je da se dobije Univerzalna Suterova Kriva za pumpne-turbine i pumpe na osnovu sedamnest setova Suterovih krivih za prethodno navedene nq pumpnih-turbina, kao i na osnovu 21 seta Suterovih krivih za prethodno navedene nq pumpi.

Takođe još jedan od ciljeva disertacije je teorijsko istraživanje i analiza različitih numeričkih modela za proračun prelaznih pojava u hidro turbinama.

Podaci iz seta Suterovih krivih za modele pumpnih-turbina i pumpi koristiće se kao ulazni podaci za proračun prelaznih procesa na postrojenjima u kojima su instalisane pumpneturbine i pumpe, takođe i podaci za *Wh* i *Wm* karakteristiku za razlicite vrijednosti *nq* dobijne iz Univerzalne Jednačine za *Wh* i *Wm* karakteristike pumpi i pumpnih-turbina. Za proračun prelaznih procesa koristiće se program od – Dr.Dušana Obradovića, program od - Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4], program od - Chaudhry, M. H. (1979) [3]. Izradom ove doktorske disertacije autor stiče viša stručna znanja u oblasti tranzijentnih procesa i daje doprinos razvoju matematičkih modela za proračun prelaznih procesa sa više fokusa na samu turbomašinu, i njene potpune četvoro-kvadrantne karakteristike.

2.2 Pregled literature

Kao polaznu osnovu za analizu i proučavanje svega onoga što je urađeno tokom izrade ove doktorske disertacije, je predstavljeno u narednom dijelu teksta sa najvažnijim djelovima iz sledećih radova i knjiga:

Knapp, R. T. (Nov. 1937): Complete Characteristics of Centrifugal Pumps and their Use in the Prediction of Transient Behavior. Trans. A. S. M. E, pp. 683-689. [12]

Ovaj rad opisuje tehniku određivanja kompletne radne karakteristike hidraulične mašine kao što je centrifugalna pumpa ili turbina, zajedno na jednom dijagramu. Karakteristike modernih pumpi, visokog pada i visoke efikasnosti su analizirane i predstavljene. Upotreba ovih kompletnih karakteristika za predviđanje ponašanja mašine tokom tranzijentnog procesa se raspravlja i analitička pozadina je prikazana. Pretpostavke koje su uključene istražene su i nude se eksperimentalne provjere njihovog važenja. Upoređivanjem mogućih uslova rada hidrauličneturbine i instalacije centrifugalne pumpe, ubrzo je postalo jasno da su pumpe podložnije mnogo širim i više uključenim varijacijama nego turbine, posebno tokom prelaznih stanja startovanja, zaustavljanja, ili hitnih operacija. Objašnjeno je da u turbinama smjer protoka i smjer rotacije su uvijek isti, čak i u slučaju kvara na samoj mašini ili problema u cjevovodu i pratećoj opremi, tako da performanse mašine uvijek leže u kvadrantu normalnog rada turbine, i pošto su njihove hidraulične karakteristike veoma dobro poznate u ovom kvadrantu, to je relativno jednostavan zadatak da se predvide kompletna dešavanja tokom eventualnog tranzijentnog stanja. S druge strane, pod sličnim uslovima sa instalacijom pumpe, protok može potpuno da promijeni smjer rotacije, mašina u ovom slučaju prestaje da bude pumpa, a nakon prolaska kroz zonu disipacije, postaje turbina u pobjegu. Važna konstatacija koja je navedene u ovom radu je da ovako velike varijacije u performansama izazivaju mnoga pitanja, kao što su brzina pobjega mašine kao turbine, vrijeme preokreta rotacije, magnitude sila ubrzanja, efekat ciklusa prenapona u linije protoka, maksimalna i obrnuta stopa protoka, i tako dalje. Objašnjeno je da nažalost na ova pitanja je veoma teško odgovoriti, iako su hidraulične performanse mašine dobro poznate dok djeluje kao pumpa, relativno malo studija je ikada napravljeno da predstave ove performanse kao energetsku disipaciju ili kao turbinu. Cilj je, da se istraže ovi malo poznati regioni performansi i da pokuša da koristi prikupljene informacije da odgovori na neka od ovih važnih pitanja.

Naveden je kratak opis radova koji su objavljeni prije ovoga rada. Prvo je navedeno da su 1931, Kittredge i Thoma objavili članak pod naslovom "Rad centrifugalnih pumpi pod nenormalnim uslovima". Ovaj rad je opisao eksperimente sprovedene sa malom pumpom radi dobijanja performansi karakteristika iz kojih se moglo predvidjeti ponašanja pumpe tokom naglih promjena radnih uslova. U ovim eksperimentima pumpa je radila pod uslovima negativnog pada, protoka i brzine, kao dodatak normalnom opsegu performansi. Kao produkt iz

ovoga rada izašla je serija istraživanja sprovedenih u hidrauličnoj laboratoriji Kalifornijskog Instituta za Tehnologiju.

Takođe su navedena kratka objašnjenja što je rađeno od ispitivanja na pojedim pumpnim instalacijama u prethodnom vremenu prije ovoga rada, u jesen 1931. godine, Boothe i Lewis pokrenuli su preliminarnu istragu na $1_{1/2}$ x 10-in. jedno usisnoj pumpi. Iako su rezultati bili veoma interesantni, osjetilo se da je pumpa bila suviše mala i efikasnost suviše niska da bude potpuno tipična za moderne instalacije. U proljeće 1932. godine, dvije 4-in. pumpe visokog-pada i visoke efikasnosti su bile dostupne posredstvom velikodušnosti kompanije Byron-Jackson. Ove pumpe su instalisane u ljeto 1932. i rad je nastavljen sa njima u naredne dvije godine. Prve rezultate su naveli Haynes i Sauermann (3) u 1933, i u 1934, potpunija prezentacija je napravljena na osnovu ovog autora. Studija takođe snadbijeva većinu pozadine ovog članka. Poseban se značaj daje istraživanjima koja su sprovedena u novoj laboratoriji na Kalifornijskom Institutu za Tehnologiju, tokom proleća 1934. godine, nova laboratorija za hidraulične-mašine je projektovana i gradila se na Kalifornijskom Institutu za Tehnologiju, u saradnji sa Metropolitan Water District u Južnoj Kaliforniji. Puštena je u rad u avgustu te godine i od tada se intenzivno izvodi program proučavanja problema visoko-pritisnog pumpnog postrojenja rijeke Kolorado. Jedan dio ovog rada je bio utvrđivanje kompletnih karakteristika nekoliko modela pumpi testiranih u laboratoriji. Pumpa, čije su karakteristike prikazane, u ovom radu predstavlja najbolju postojeću praktičnu pumpu, pošto je na modelu ispitana efikasnost od preko 92 procenta. Naveden je zaključak da se očekuje u bliskoj budućnosti dobijanje više kompletnih testova od ovog i ostalih modela velikih razmjera sa varijacijom specifičnih brzina, takođe da se i za ostale tranzijente kontroliše pobjeg na višim ubrzanjima i da se omogući detaljnije testiranje validnosti ove metode izračunavanja tranzijenata.

Sve je što Knapp davne 1937 godine naveo u ovom radu, dalo je put, inspiraciju i ideju autoru za temu ove doktorske disertacije. Jer iako je prošlo puno vremena od kada je objavljen ovaj rad, do današnjeg dana nije se puno otišlo u istraživanju i davanju odgovora na pitanja koja je postavio autor u ovom radu, a što značajno dotiče ovu doktorsku disertaciju i njen sadržaj.

Donsky, B. (1961). Complete pump characteristics and the effects of specific speeds on hydraulic transients. J Basic Eng, Trans ASME, pp.685-699. [2]

U radu su predstavljene kompletne karakteristike pumpi određenih specifičnih brzina 1800, 7600, i 13,500 (u gpm jedinicama, odnosno 25 (35), 147 i 261 u SI jedinicama), pri čemu su osnovni podaci sa ispitivanja za ove tri pumpe obezbijeđeni od strane Prof.Hollander-a sa California Institute of Technologi. Opisan je metod za izradu kompletnih karakteristika pumpe od podataka dobijenih na modelskim ispitivanjima. Upoređena su tri kompleta karakteristika pumpi, i pikazani efekti određenih specifičnih brzina na hidraulične prelazne procese uslijed odvajanja pumpe od mreže ili zaustavljanja pumpe. Opisano je stanje tranzijentnih procesa koji se pojavljuju na pumpi radijalnog protoka, pumpi mješovitog protoka, pumpi aksijalnog protoka. Opisano je da u većini slučajeva kompletne karakteristike pumpe nijesu dostupne, kao i da nepotpune karakteristike pumpe mogu da se produže homolognim zakonima pumpi ili zakonima sličnosti $n_{11}/n_{11m} = 1, n_{11}/n_{11m} = (n*D/H^{1/2})/(n_m*D_m/H_m^{1/2}) = ((n/n_m)*(D/D_m)*(H_m^{1/2}/H^{1/2})) = 1, Q_{11}/Q_{11}$ $m = 1, Q_{11}/Q_{11m} = (Q/D^2 * H^{1/2})/(Q_m/D_m^2 * H_m^{1/2}) = ((Q/Q_m) * (D_m/D)^2 * (H_m^{1/2}/H^{1/2})) = 1, P_{11}/P_{11m} \neq 1$ [5]. Najvažnija veza između modela i prototipa pumpe ili turbine su relacije zakona sličnosti, iz ovih relacija izvode se jednačine za Q, H, M koje se koriste tokom preračunavanja podataka sa Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive. Smatra se da ako je specifična brzina pumpe koja se proučava otprilike ista kao dostupne karakteristike pumpi, rezultati hidrauličkog udara će biti zadovoljavajući za većinu inženjerskih svrha, kao i da neki od podataka dobijeni na ispitivanjima se ne uklapaju u krive dobijene homolognim zakonima, što ne znači da su podaci dobijeni na ispitivanjma netačni, već samo znači da pumpa tokom ispitivanja nije pratila homologne zakone Str. 32 od 600 u pojedinim regionima nenormalnog rada. Naveo je da se samo uz više podataka sa ispitivanja može doći do prosječne karakteristike pumpi.

Pošto je Donsky u svom radu naveo kompletne karakteristike pumpi za tri specifičnih brzine sa velikim rasponom između ova tri nq-a, proizašla je ideja za ovu doktorsku disertaciju, a to je da se dobiju Univezalne Suterove Krive za pumpe i pumpne turbine koje će obuhvatiti sve nq-ove na opsegu radijalnih mašina. Pošto kompletne radne karakteristike pumpi i pumpnihturbina sa različitim specifičnim brzinama nijesu uvijek dostupne od strane proizvođača, neophodno je imati kompletne karakteristike pumpi i pumpnih-turbina da se odredi rad pumpe i pumpne-turbine za sva moguća stacionarna stanja, ili da se odrede prelazni uslovi za normalni ili abnormalni rad pumpe i pumpne-turbine. Da bi se izvršilo proučavanje efekata tranzijenata sa dovoljnom tačnošću, potrebno je imati kompletne karakteristike pumpe i pumpne-turbine približno iste specifične brzine, što u većini slučajeva nije dostupno, i često se pokreće pitanje kolika je greška koja je uvedena u proučavanje tranzijenata upotrebom neodgovarajućih karakteristika pumpe. U ovoj disertaciji biće prikazani setovi kompletnih karakteristike pumpi i pumpnih-turbine za veći broj nq-ova, na osnovu kojih će u matematičkim modelima razvijenim u Matlabu biti dobijene Univerzalne Suterove Krive za pumpe i pumpne turbine, što će omogućiti svim inženjerima koji se bave proračunom prelaznih procesa na pumpama i pumpnim-turbinama vrijednosti za kompletne karakteristike Wh i Wm za čitav spektar različitih nq-ova pumpi i pumpnih-turbina.

Chaudhry, M. H. (1979). Applied hydraulic transients. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA. [3]

U ovoj knjizi izvršena je analiza tranzijenata izazvanih raznim operacijama pumpi, predstavljen postupak za skladištenje karakteristika pumpe u digitalnom računaru, razvijeni su granični uslovi i riješen je tipičan problem. Predstavljeni su kriterijumi dizajna za projektovanje cjevovoda i izvršena prezentacija studije slučaja, predstavljena su i objašnjena tranzijentna stanja izazvana raznim operacijama pumpe. Urađeno je i matematičko predstavljanje radnih karakteristika pumpe. Objašnjeni su granični uslovi za ispad pumpe, jednačine za karakteristike i uslove koje postavljaju granice koji se rješavaju istovremeno da odrede granične uslove. Razvijeni su granični uslovi za složenije slučajeve, a da bi se olakšalo razumijevanje njihovog izvođenja, najpre je razmatran jednostavan sistem koji ima samo jednu pumpu i veoma kratak usisni vod. Objašnjeno je da karakteristike pumpe definišu uslove koje nameću granice, a diferencijalna jednačina definiše varijacije brzine pumpe sa vremenom nakon nestanka struje, i da se moraju istovremeno rješavati ove jednačine za razvoj graničnih uslova za kraj pumpe. Navedena je i detaljna analiza po pitanju dobijanja krivih, koje pokazuju odnose između varijabli koje se nazivaju karakteristike pumpe. Objašnjeno je da su razni autori prikazali ove krive u različitim grafičkim oblicima pogodnim za grafičke ili kompjuterske analize, a da od svih metoda predloženih za skladištenje karakteristika pumpi u digitalnom računaru, metod koji je koristio Marchal je najpogodniji, uz određenu modifikaciju. Takođe, naglašeno je da iako su podaci karakteristika pumpi u pumpnoj zoni obično dostupni, za zonu rasipanja ili zonu turbinskog rada dostupno je relativno malo podataka. Preporučeno je da ako podaci kompletnih karakteristika nijesu dostupni, onda karakteristike pumpi koja imaju najpribližniju specifičnu brzinu mogu da se koriste kao aproksimacija. Prof.dr Chaudhry je dao objašnjenja i predstavio homologne relacije, i da se podaci za karakteristike prototipa pumpi dobijaju iz rezultata ispitivanja modela pomoću homolognih relacija. Naveo je da se dvije pumpe (ili turbine) smatraju homologne ako su geometrijski slične i obrazac strujanja kroz njih je takođe sličan, da homologni odnosi mogu biti bezdimenzionalni korišćenjem vrijednosti za nominalno stanje kao referentne vrijednosti. Definisao je bezdimenzionalne varijable h, α , v, β , i opisao da tokom tranzijentnog stanja za sve četiri zone rada, h/α^2 postaje beskonačno. Da bi se to izbjeglo, može se koristiti parametar $h/(\alpha^2 + v^2)$ umjesto h/α^2 , i da indeksi v i α zavise od zone rada. Objasnio je da Marchal sugeriše da se $sgn(h)\sqrt{|h|}(\alpha^2 + v^2)$ koristi da se poveća preciznost za manje vrijednosti *Wh* (*sgn* označava znak od *h*), međutim Prof.dr Chaudhry je upotrebio $h/(\alpha^2 + v^2)$ za *Wh* jer pojednostavljuje izvođenje graničnih uslova za kraj pumpe. Naveo je objašnjenja da za svaku vrijednost α i *v* (osim kada su α i *v* istovremeno nule), vrijednost za $\theta = tan^{-1}(\alpha/v)$ može se odrediti pomoću IBM funkcije ATAN2, međutim ova funkcija izračunava vrijednosti za θ između 0 i π , i između 0 i $-\pi$, a naš opseg interesovanja je između 0 i 2π . Ovo ograničenje može se izbjeći dodavanjem 2π da se kompujterski izračunavaju vrijednosti od θ . Objasnio je da neki autori pogrešno koriste specifičnu brzinu od 25 (35) SI jedinica za pumpu sa dvostrukim usisavanjem, kako ovaj tip pumpe ima dvostruko usisavanje optimalni protok treba podijeliti na dva pri izračunavanju specifične brzine. Prikazao je krive karakteristika *Wh* i *Wm* za pumpe koje imaju specifičnu brzinu od 25 (35), 147, i 261 (SI jedinice), odn. 1276, 7600, i 13.500 (gpm jedinice).

Ono što je interesantno i što je obratilo pažnju autora ove doktorske disertacije u knjizi od Prof.dr Chaudhry a što je iniciralo temu za ovu doktorsku disertaciju, je da su ovoj knjizi prikazene kompletne karakteristike Wh i Wm za pumpe sa tri specifičnih brzine i sa velikim rasponom između nq-ova, što je veliki nedostatak. Da bi se nadomjestio ovaj nedostatak, u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani setovi kompletnih karakteristike Wh i Wm pumpi i pumpnih turbina za veći broj nq-ova za opseg radijalnih mašina na osnovu kojih u matematičkim modelima razvijenim u Matlabu su dobijene Univerzalne Suterove Krive za pumpe i pumpne turbine. Takođe, veoma je važno što je navedeno u ovoj knjizi a što je primijenjeno i izanalizirano u ovoj doktorskoj disertaciji, su postupci i formule koje je koristio Marchal i Prof.dr Chaudhry za izarčunavanje karakteristika Wh i Wm pumpi i pumpnih turbina. Takođe, u ovoj doktorskoj disertaciji su izanalizirane i sagledane vrijednosti karakteristika Wh i Wm pumpi i pumpnih-turbina dobijenih ovim postupcima i njihov uticaj u odnosu na Univerzalne Suterove Krive za pupme i pumpne-turbine i na tačnost rezultata dobijenih proračunom prelaznih procesa na pumpama i pumpnim-turbinama. U ovoj doktorskoj disertaciji je izanaliziran i numerički model za proračun prelaznih procesa koji je predstavljen u navedenoj knjizi od Prof.dr Chaudhry, izvršeno je njegovo pokretanje i izvršena analiza dobijenih rezultata.

Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993). *Fluid Transients in Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632. [4]

Prof dr Wylie, E.B. i Streeter, V.L naveli su objašnjenja vezano za prelazne procese i uzročnike njihovog nastanka. Objasnili su da su promjene radnog stanja na turbomašini rezultat nestacionarnog tečenja u hidrauličkom sistemu, da to radno stanje može da bude izazvano pokretanjem ili zaustavljanjem centrifugalne pumpe, ili može da bude izazvano prilagođavanjem opterećenja na generatoru što izaziva promjene koje u tom momentu nastaju na hidrauličnoj turbini. Razmatrali su dinamičko ponašanje pumpi, a zatim reakcije na turbinama. Naveli su objašnjenja vezano za pumpe i pumpne sisteme, kao i analize situacija prelaznih procesa koje proizilaze iz hidrauličkog dizajna, tu su uključeni pokretanje, zaustavljanje ili kontrola rada pumpe, otvaranja i zatvaranja ventila. Opisali su događaje koji nastaju nakon ispada pumpe, tretirano je rukovanje karakteristikama turbomašine, razvili su granične uslovi za jednu pumpu, pumpe u seriji i paralelno, i složene stanice, praćeni startovanjem pumpi. Detaljno su opisali redosled događaja tokom nestanka napajanja na pumpi. Dali su i detaljnu analizu kako se ponaša protok na pumpi i pritisak u cjevovodu za razne situacije koje mogu nastupiti u sistemu. Dali su objašnjenja načina primjene metode karakteristika, kao bezdimenzionih homolognih karakteristika turbopumpi. Objasnili su da uslovi za turbine mogu se opisati na isti način kao i uslovi za pumpe, međutim sa podacima turbine skup karakteristika može biti potreban za svaki od mnogih otvora lopatica sprovodnog aparata. Naveli su i analizirali četiri veličine koje su uključene u karakteristike - ukupni dinamički pad, protok, moment na vratilu i rotaciona brzina. Naveli su sledeće dvije osnovne pretpostavke: karakteristike stanja ravnoteže se drže za situaciju nestabilnog stanja, iako se protok i broj obrtaja mijenjaju sa vremenom njihove vrijednosti u trenutku određuju pad i moment. Detaljno su izanalizirali i objasnili homologne odnose, objasnili su da homologne teorije pretpostavljaju da se efikasnost ne mijenja sa veličinom jedinice, i da je pogodan rad sa bezdimenzionim karakteristikama h, β , v, i α . Naveli su objašnjenja koja se odnose na homologne odnose i kako su prevaziđeni određeni problemi. Sa matematičkog stanovišta homologni odnosi su teški za rukovanje, jer. h, β , v i α svi mogu mijenjati znak i proći kroz nulu tokom prelaznog procesa. Dali su objašnjenje kako je Marchal prevazišao ovaj problem pomoću, $h/(\alpha^2 + v^2)$ vs. $tan^{-1}(v/\alpha)$, $\beta/(\alpha^2 + v^2)$ vs. $tan^{-1}(v/\alpha)$, i da je primijetio da za dati v/α može da se razvije $h/(\alpha^2 + v^2)$ od kojih se grafički prikazuju h/α^2 vs. v/α , tako da homologni odnosi ostaju sačuvani u jednačinama. Dali su i detalina objašnjenja za podatke koji se odnose na pumpne turbine, da turbinski podaci, W_h i W_m su sa dvostrukim indeksima, drugi indeks ukazuje na relativni položaj lopatica sprovodnog aparata, a posebne krive W_h i W_m su potrebne za svaki izabrani položaj otvora lopatica sprovodnog aparata. Naveli su i objašnjenje koje se odnosi na važnost kompletnosti karakteristika pumpi, i da u mnogim projektantskim situacijama kompletne karakteristike pumpe nijesu dostupne od proizvođača, pa se moraju popuniti W_h i W_m matrice iz drugih raspoloživih podataka sa testiranja pumpi. Krive imaju tendenciju da imaju slične oblike za iste specifične brzine, ako takvi podaci nijesu dostupni, krive moraju biti produžene u poređenju sa podacima za druge specifične brzine. Naveli su da je ovo nesigurna procedura, a rezultati studija prelaznih procesa koje koriste te podatke moraju da se gledaju sa skepsom. Prikazali su vrijednosti karakteristika W_h i W_m za pumpe sa tri specifične brzine Ns = 1270 (gpm units) ili Ns = 25 (35) (SI), Ns = 7600 (gpm units) ili Ns = 147 (SI), Ns = 13,500 (gpm units) ili Ns = 261 (SI) [7], ovi podaci su razvijeni od Hollander-ovih eksperimenata.

Sagledavanjem sadržaja knjige od Prof dr E. Benjamin Wylie i Prof. dr Victor L.Streeter pažnju autora ove doktorske disertacije je zaokupila činjenica da su u knjizi prikazane kompletne karakteristike Wh i Wm za tri pumpe sa različitim specifičnim brzinama, što autora usmjerilo na temu za ovu doktorsku disertaciju, iz razloga što postoje veliki rasponi između navedenih nq-ova, i što je potrebno sa više modela pumpi sa nq-ovima čije se vrijednosti nalaze između vrijednosti navedenih nq-ova popuniti navedeni raspon. U ovoj doktorskoj disertaciji je razvijena univerzalna jednačina koja obuhvata kompletan ovaj raspon, i time je prevaziđen veliki nedostatak u obezbjeđivanju karakteristika Wh i Wm pumpi i pumpnih-turbine za proračun prelaznih procesa. Postupci i formule koje je koristio Marchal i Prof dr E. Benjamin Wylie i Prof. dr Victor L.Streeter za izračunavanje karakteristika Wh i Wm koji su navedeni u ovoj knjizi su primijenjene i izanalizirane u ovoj doktorskoj disertaciji. Takođe u ovoj doktorskoj su izanalizirane i sagledane vrijednosti karakteristika Wh i Wm dobijenih ovim disertaciii postupcima i njihov uticaj na tačnost rezultata dobijenih proračunom prelaznih procesa na pumpama i pumpnim-turbinama, kao i njihov uticaj na Univerzalne Suterove Krive za pumpe i pumpne turbine koje su razvijene u ovoj doktorskoj disertaciji.

Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996). *Pump characteristics for transient flow analysis*, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB. [6]

Prof. dr Thorley izvršio je analizu prelaznih procesa, graničnih uslova-hidro turbine, kompjuterskih kodova koji rješavaju nelinearne jednačine. Objasnio je da analiza promenljivog tečenja i brzih prelaznih procesa u sistemima ispunjenim tečnosti zahtijeva da se ključni granični uslovi što je moguće tačnije modeliraju, jedan od graničnih uslova od posebnog interesa je hidraulična mašina, uključujući pumpe i turbine. Izvršio je analizu metoda koje su do sada razvijene za modeliranje pumpi i predstavio je novih 10 setova karakteristika *Wh* i *Wm* za pumpe sa različitim specifičnim brzinama - *nq*. Izvšio je analizu postupka koji su osmislili Suter [Marcel, et al (1965) i Suter (1966)] objasnio je da su ovi postupci najviše favorizovani kod inženjera, međutim, ovaj postupak pati od nedostataka adekvatnog izvora u obliku podataka za krive pada i obrtnog momenta koje obuhvataju sve četiri glavne zone rada, odnosno promjene u brzini i u protoku. Naveo je da samo četiri standardna seta karakteristika *Wh* i *Wm* su navedena u opštoj literaturi. Naveo je objašnjenja definicija za specifični broj obrtaja pumpe, predstavio je 14 setova podataka za kompletne karakteristike pada i obrtnog momenta *Wh* i *Wm* u širokom

spektru rotirajućih-dinamičkih pumpi, koje obuhvataju mašine centrifugalnog, mješovitog i aksijalnog protoka za aplikacije pumpanja tečnosti i kanalizacije, to predstavlja poboljšanje u odnosu na trenutno dostupne baze podataka i znanja u opštoj literaturi. Objasnio je da postoji dobra korelacija sa specifičnim brojem obrtaja u zoni normalnog rada, ali da određena diskrecija je potrebna kada se koriste podaci u drugim zonama. Naveo je da kompletne karakteristike pumpi navedene u ovom radu su reprodukovane na dosljedan oblik i akumulirane iz većeg broja izvora Weir Pumps, ITT-Flygt, ENEL u Italy i Dr A. P. Boldy sa Univerziteta Warwick. Dao je detalino objašnjenje pojma graničnih uslova i pumpe na kraju cjevovoda kao graničnog uslova, osnovna strategija u rješavanju jednačina za nestacionarno tečenje u cijevnim sistemima za transport tečnosti je da se organizuje istovremeno rješavanje para jednačina od kojih svaka sadrži nepoznate pad i protok na mjestu i u vremenu interesovanja. Izvršio je analizu češćeg i složenijeg scenarija kada se brzina pumpe mijenja, pumpa može biti primorana da radi van svoje normalne zone, za koju podaci često nijesu dostupni, stoga je u interesu generalizacije da se obezbijedi praktično predstavljanje takvih podataka koji će biti dostupni u bezdimenzionalnoj formi. Naveo je nekoliko šema koje su do sada razvijene za upotrebu sa kompjuterskim tehnikama [npr. Donsky (1961); Streeter & Wylie (1967); Watters (1979)], ali najčešće prihvaćeni pristupak koji je trenutno u upotrebi je onaj koji je pripisan Suter-u [Marchel, et al (1965); Suter (1966)].

Detaljno je objasnio i prezentovao bezdimenzione grupe, poznate i pod nazivom homologni zakoni kao i afinitetni zakoni, dimenzionalna analiza rotorajućih-dinamičkih pumpi daje nam bezdimenzionalne koeficijente protoka, pada i snage, dodatni uslovi su prečnik radnog kola, rotaciona brzina, snaga, ubrzanje uslijed gravitacije i gustine tečnosti, ove bezdimenzione grupe poznate i pod nazivom homologni zakoni, mogu biti redukovani do afinitetnih zakona. Izostavljanjem prečnika radnog kola, gravitacionog ubrzanja i gustine tečnosti u ovom obliku odnosi više nijesu bezdimenzionalni, ali to se prevaziđe tako što se dijele svi relevantni parametri sa njihovim odgovarajućim vrijednostima pri optimalnim uslovima i uvođenjem obrtnog momenta dobijaju se bezdimenzione karakteristike h, q, α , β . Prof. dr Thorley detaljno je objasnio napredak koji je napravili Suter i Marchel tokom izvođenja obrazaca za bezdimenzionalni pad i protok Wh i Wm, kao i postupak koji su razvili [Chaudhry (1987), Svaffield & Boldy (1993), Wylie & Streeter (1993)] u svojim radovima i knjigama i u kojoj mjeri njihovi obrasci za bezdimenzionalni pad i protok Wh i Wm odstupaju od obrazaca koji su izveli Suter i Marchel. Ključni napredak koji je napravio Suter [Marchel et al (1965), Suter (1966)] je da je iskoristo činjenicu da protok i brzina se obično ne ponište istovremeno, sa inkorporacijom oboje i bezdimenzionalnog protoka i brzine u imeniocima jednačina pada i obrtnog momenta, bio je u stanju da izbjegne dijeljenje sa nulom, i predložio modifikaciju bezdimenzionih uslova, $Wh = sign \text{ of } h \sqrt{(|h| / \alpha^2 + q^2)}$, $Wm = sign \text{ of } \beta \sqrt{(|\beta| / \alpha^2 + q^2)}$, Wh i Wm su revidovani bezdimenzionalni pad i protok, oboje su iscrtani u odnosu na θ , gdje je θ definisano sa $\theta = tan^{-1}(\alpha/q)$. Prednost ove formulacije je da karakteristike pada i obrtnog momenta za sve zone rada rotirajućih-dinamičkih pumpi mogu biti predstavljene bez rizika od stvaranja beskonačnih vrijednosti, kvadratni korjeni su predloženi kako bi se obezbijedila veća preciznost pri niskim brojevima. Naveo je da neki tekstovi [npr. Chaudhry (1987), Svaffield & Boldy (1993), Wylie & Streeter (1993)] ustvari ne prate ovu strategiju i izostavljaju kvadratni korjen, jer to čini malo lakše uključivanje ove procedure u analizu prelaznih procesa protoka, napomenuo je da neke analize definišu θ kao $\theta = tan^{-1}(q/\alpha)$. Objasnio je da u ovom radu se koristi originalna definicija Sutera, kao što su navedeni prethodni izrazi za Wh, Wm i θ .

Ono što je autoru ove doktorske disertacije posebno obratilo pažnju u ovom radu a samim tim i pokazalo put za definisanje teme ove doktorske disertacije, je prikaz 14 setova podataka za kompletne karakteristike pada i obrtnog momenta Wh i Wm u širokom spektru nq – ova pumpi koje obuhvataju mašine centrifugalnog, mješovitog i aksijalnog protoka. U ovoj doktorskoj disertaciji korišćen je dio navedenih podataka za opseg centrifugalnih pumpi kao ulazni podaci u matematičkom modelu razvijenom u Matlabu za dobijanje Univerzalne Suterove
Krive za pumpe. U ovoj doktorskoj disertaciji su obrađeni i analizirani izvorni postupci i formule koje su razvili Marchel (1965) i Suter (1966) za izračunavanje karakteristika *Wh* i *Wm* a koje je u ovom radu predstavio i koristio za preračunavanje Prof. dr Thorley. Takođe su u ovoj doktorskoj disertaciji analizirane i obrađene vrijednosti karakteristika *Wh* i *Wm* dobijenih ovim postupkom i njihov uticaj na Univerzalnu Suterovu Krivu za pumpe koja je razvijena u ovoj doktorskoj disertaciji, kao i njihov uticaj na tačnost rezultata dobijenih proračunom prelaznih procesa na pumpama.

Dörfler, P. K. (2010). *Improved Suter Transform for Pump-Turbine Characteristics*, R&D Department, Andritz Hydro Ltd. P.O. Box 2602, 8021 Zurich, Switzerland. **[14]**

Dr. Dörfler je dao detaljnu analizu i objašnjenja standardnih četvorokvadrantnih karakteristika pumpe-turbine koje su opisane bezdimenzionalnim parametrima, probleme koji se javljaju sa singularnosti ovih parametara i njihovim višestrukim vrijednostima koje se pojavljuju u "nestabilnoj" oblasti. Objasnio je da je P.Suter (1966) uveo alternativni skup varijabli koje izbjegavaju singularitet i uvijek ostaje jedinstvena vrijednost, i da ovo funkcioniše za neregulisane pumpe, ali ne tako dobro za regulisane mašine. Posebnu pažnju u ovom radu Dr. Dörfler posvećuje analizi i poboljšanju predstavljanja obrtnog momenta za zatvorene lopatice sprovodnog aparata gdje P.Suter nije dao doprinos, objasnio je da modifikacije od C.S. Martina izbjegavaju narušavanje - distorzije pri niskom opterećenju. Opisao je dalja poboljšanja za predstavljanje obrtnog momenta, za zatvorene lopatice sprovodnog aparata, gdje Suterov koncept ne radi. Dao je objašnjenje vezano za izvor distorzija u karakteristikama, i da najpopularniji vid karakteristike protoka $Q_{11} = f(\alpha, n_{11})$, ili $Kc_m = f(\alpha, Ku)$, ima asimptotsko ponašanje gdje E postane nula čak i ako E nikada ne postane nula u većini aplikacija, dijeljenje sa sqrt(E) je izvor ozbiljne distorzije u karakteristikama. Dr. Dörfler je naveo još nedostataka Suterovog koncepta vezano za vrijednosti brzine i protoka u "S-region" karakteristike. Objasnio je da u dijelu karakteristike, koji se obično naziva i "S-region", za datu vrijednost promenljive brzina/pad nED, postoje 3 različite vrijednosti faktora protoka QED, ovo zahtijeva posebne aranžmane kada se koristi ova vrsta predstavljanja. Naveo je i drugi način predstavljanja kada su parametri bazirani na n, ovaj način se često koristi za aplikacije pumpe, ovdje je potrebno imati u vidu da se nezavisna varijabla promijenila iz ulaza pad/brzina prema ulazu protok.

Objasnio je da Suterova ideja (koju je nazvao Suterovo lukavstvo) polazi od $\psi(\varphi)$ zastupljenosti pada pumpe i zamjene imenioca kvadrata brzine n^2 sa nekom vrstom mješovite brzine $(n^2 + Q^2)$, koji nikada ne postaje nula, jer je najmanje jedna od varijabli n i Q uvijek drugačija od nule. Stoga, na osnovu ψ se dobija nova promjenljiva za pad koja je proporcionalna $H/(n^2 + Q^2)$, ova nova promenljiva može postati nula zajedno sa padom H, ali uvijek ostaje ograničena. Naveo je da je Suter uveo i drugo lukavstvo kako bi se dobio bolji način da zastupa protok Q, on je uzeo u obzir činjenicu da je, u četvoro-kvadrantnom dijagramu $Q_{11}(n_{11})$, ili $Kc_m(Ku)$, koeficijent protoka φ je u osnovi tangentna radijusu koji povezuje (0,0) do radne tačke (Ku, Kc_m), odnos Kc_m/Ku biće jednak sa φ , otuda arctan (φ) = arctan (Kc_m/Ku) je pogodna mjera za protok, jer čak i na asimptoti H=0, gdje Kc_m i Ku postaju beskonačne, one imaju konačnu vrijednost. Promjenljiva obrtni moment radnog kola M je tretirana na sličan način kao što je pad H, tako da karakteristike obrtnog momenta naspram karakteristika protoka takođe postaju da se dobro ponašaju i za n=0 i H=0. Da bi se eliminisao problem različitih dimenzija od H, n, Q, M, originalna transformacija je već zamijenjena njihovim "po jedinici" varijablama H/H_{ref}, Q/Q_{ref}, itd, predlažući optimalnu tačku za referentnu, njihov set varijabli zatim postaje $\theta = arc.tan(\varphi/\varphi_{ont})$ za protok, $(H/H_{opt})/((n/n_{opt})^2 + (O/Q_{opt})^2)$ za pad, i $(M/M_{opt})/((n/n_{opt})^2 + (O/Q_{opt})^2)$ za moment. Dao je objašnjenja vezano za distorzije Suterovih krivih i postupak koji je razvio Suter da bi suzbio nepoželjne distorzije, nepoželjne distorzije Suterovih krivih rezultiraju iz činjenice da protok Q koji se koristi u referentnoj brzini $(n^2 + Q^2)$ je podložan značajnim varijacijama izazvanim sa otvorom lopatica sprovodnog aparata α . Objasnio je da je Suter već pokušao da poboljša ovo i zamijeni svoje varijable sa njihovim kvadratnim korjenima, $Wh = sign(H) \cdot sqrt((H/H_{opt})/((n/n_{opt})^2))$ Str. 37 od 600

+ $(Q/Q_{opt})^2$) za pad, $Wm = sign(M) \cdot sqrt((M/m_{opt})/((n/n_{opt})^2 + (Q/Q_{opt})^2))$ za moment. Naveo je da neophodnost za rad sa odvojenim dijagramima za različite režime je eliminisana, interpolacija je omogućena u svakom trenutku rada, a nema singulariteta da izazivaju probleme, neke modifikacije su, međutim, moguće, pa čak i neophodne, da prilagode način za aplikaciju sa regulisanim mašinama. Predstavio je prvo poboljšanje u odnosu na Suterov koncept a to je definicija referentnog protoka, kao što je poznato Suterov rad je sa neregulisanom pumpom, neki od autori koji se bave pojedinačno regulisanim pumpnim turbinama primijenili su jedan konstantan referentni protok Qref za sve karakteristične krive, odnosno za sve vrijednosti otvora lopatica sprovodnog aparata. Objasnio je da ovo nije srećan izbor jer u slučaju malog otvora lopatica sprovodnog aparata, uticaj Kcm je praktično izgubljen, rezultirajući u ozbiljnim iskrivljenjima na Suterovoj krivi, potrebno je da se koriste reference manjih Kcm za male otvore lopatica sprovodnog aparata, i dalje ostaje pitanje, koja je mogućnost najpogodnija, Prof.dr Martin je 1982 godine već prijavio praktično rješenje skaliranje relativnog protoka tako što se dijeli kroz relativni otvor lopatica sprovodnog aparata, sličan koncept je predstavljen i u ovom radu. Takođe je Dr.Dörfler dao objašnjenja vezano za definicije zavisnih promenjivih Wh i Wm i uvođenje kvadratnih korjena u cilju smanjenja veličine varijacije promenljivih pada i obrtnog momenta.

Dr.Dörfler je izvršio transformaciju "Modifikovani Suter" sa dodatnim poboljšanjima, izvršio je kompenzaciju curenja lopatica sprovodnog aparata i izvršio je neznatne promjene numeričke vrijednosti otvaranja lopatica sprovodnog aparata. Objasnio je da nakon procedure skaliranja, dobija se dijagram obrtnog momenta koji izgleda slično kao dijagram protoka jer je efekat narušavanja zapornog momenta uklonjen. Naveo je još jedan od nedostataka Suterovog modela, u slučaju limita zatvorene lopatice sprovodnog aparata, iz fizičkih razloga (uzročnosti) za pad ulaz neophodan je protok ulaz, za veoma male vrijednosti α' (recimo, $\alpha' < 0.5^{\circ}$), Suterov model mora biti zamijenjen sa modelom "otvor" sa ulazom pad i izlazom protok. Izvršena je transformacija "modifikovani Suter", promjenjivih protoka, pada i momenta sa sledećim $X2=arctan(Ku^*/Kc_m^*)/\pi=arctan(X1/Y1)/\pi,$ $Y2=1/(Ku^{*2}+Kc_m^{*2})=1/(Xl^2+Yl^2),$ obrazcima $Z2=Y2 \cdot KM^*=Y2 \cdot Z1=Z1/(X1^2+Y1^2)$. Dr. Dörfler je dao detaljna objašnjenja vezano za razvijeni model "otvor" koji je prezentovan u ovom radu. Naveo je da kod četvoro-kvadrantnih karakteristika model "otvor" se može izraziti na sledeći način, pumpni kvadrant - Kc_m^* = $c_1 \cdot sqrt((c_2(\alpha') \cdot Ku^*)^2 - 1))$, kvadrant pumpnog kočenja - $Kc_m^* = c_3 \cdot sqrt(1 - (c_2(\alpha') \cdot Ku^*)^2))$ turbinski kvadrant - $Kc_m^* = c_3 \cdot sqrt(1 - (c_4(\alpha') \cdot Ku^*)^2)$, reverzibilni pumpni kvadrant - $Kc_m^* =$ $c_5 \cdot sqrt((c_4(\alpha') \cdot Ku^*)^2 - 1)$, funkcije $c_2(\alpha')$ i $c_4(\alpha')$ mogu biti linearizovane za male vrijednosti α , vrijednosti $(1/c_2)$ i $(1/c_4)$ su jednake vrijednosti Ku^* gdje Kc_m^* postaje nula u slučaju da je smisao rotacija pumpe i turbine respektivan. Naveo je objašnjena i mogućnost povezivanja Suterovog modela sa modelom"otvor". Objasnio je da metodički nedostaci običnih bezdimenzionih parametara mogu se izbjeći korišćenjem više odgovarajućih definicija, kao i da Suterovo lukavstvo, prvobitno definisano za neregulisane pumpe, zahtijeva određene modifikacije za pumpne-turbine pojedinačno regulisane. Naveo je da najvažnije poboljšanje u pogledu zastupljenosti protoka je već poznato dugo vremena, druga poboljšanja u vezi zastupljenosti obrtnog momenta i preciznosti malih otvor su moguća. Objasnio je da primjenom modifikovanog Suterovog koncepta za druge parametre, kao što su pulsiranje pritiska ili obrtni moment lopatice sprovodnog aparata, je praktičan način da se povežu ovi parametri na tranzijentne radne režime mašine.

Posebnu pažnju autoru ove doktorske diseratcije u ovom radu su privukle analize i objašnjenja koje je naveo Dr. Dörfler po pitanju koncepta koji je razvio P.Suter (1966) za izračunavanje karakteristika *Wh* i *Wm*, kao i svi nedostaci koje je naveo za Suterov koncept. Takođe autoru ove doktorske disertacije je privukao pažnju i model "otvor" sa ulazom pad i izlazom protok koji je Dr. Dörfler razvio u ovom radu, kao i odnos Suterovog modela prema neregulisanim pumpa i pojedinačno regulisanim pumpnim turbinama.

Zheng, X. B. ^{1,2}, Guo, P. C. ^{1,2}, Tong, H. Z. ¹ and Luo, X. Q. ^{1,2} (2012). *Improved Sutertransformation for complete characteristic curves of pump-turbine;* ¹ Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, No.5 South Jinhua Road, Xi'an, 710048, China; ² FINE Institute for Hydraulic Machinery, A-16F, Huaxing Times Plaza, No.478 Wensan Rd, Hangzhou, 310013, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China. **[8]**

Autori ovog rada su razvili novu poboljšanu metodu za transformaciju Suterove krive, transformacija Wh krive je sprovedena površinskim fitingom. Objasnili su da kompletne karakteristike krivih pumpne-turbine prikazuje "s" karakteristiku u anti-pumpnom i pumpnom radnom stanju, multi-numeričke vrijednosti krive jediničnog protoka i jediničnog momenta izazvane sa ukrštanjem i fenomenom preklapanja krivih mogu donijeti neprijatnosti za analizu tranzijentnih prelaznih procesa. Autori su u ovom radu, kompletne karakteristike krivih pumpneturbine obradili korišćenjem poboljšane metode za transformaciju Suterove krive, površinski fitting je sproveden za transformaciji Wh krive, dakle, tro-dimenziona površina je postignuta. Analizirali su tranzijentni proces - rasterećenje koristeći gore pomenute krive, rezultati pokazuju da metoda korišćena u ovom radu može da eliminiše neravnomjerne raspodjele, ukrštanja, preklapanja i multi-vrijednosti karakteristika, obezbjeđujući pogodnosti za analizu tranzijentnih procesa pumpne-turbine. Naveli su koliko je važna primjena kompletnih karakteristika krivih reverzibilnog agregata pumpne-turbina za parametre tranzijenata i koliko obrada kompletnih karakteristika krivih reverzibilnog agregata daje direktan uticaj na preciznost proračuna tranzijentnih procesa kod pumpanja. Autori su dali objašnjenja vezano za proračun prelaznih procesa što se dešava ako je direktna primjena n_{11} ili Q_{11} i kolika se greška javlja, koliko su neophodne kompletne karakteristike krivih reverzibilne pumpne-turbine da se prevazidu određeni nedostaci i manjkavosti karakteristika originalne krive, i poboljša se preciznost izračunavanja. Navedeno je objašnjenje Suterovog metoda, da je Suterov fizički koncept jasan. Naveli su koja su poboljšanja postignuta na krivima Wh i Wm sa novim metodom koju su razvili i prikazali u ovom radu, da su potpuno eliminisali iz Suterovih tranzicionih krivih iskošenja, sječenja i preklapanja, kao i nedostatke vrijednosti dobijenih interpolacijom, i da se dobijaju dobri interpolirani rezultati. Data su objašnjenja na koji je način razvijen matematički model zasnovan na najmanjim kvadratima fitovanja površina koji je prestavljen u ovom radu, u namjeri da se dobiju vrijednosti za Wh, Wm, poboljšana je postojeća Suterova kriva metodom transformacije za karakteristike krive pumpne-turbine, koristeći tretman poboljšane metode. Naveli su da kompletne karakteristike krivih pumpe-turbine su u klasi paralelnog stanja, problem multi vrijednosti u kompletnim karakteristikama krivih pumpne-turbine je eliminisan u osnovi. Objasnili su da krive obrađene polinomijalnim fitingom, dobijaju se relativno glatka karakteristika krive, na ovoj osnovi, fitovanje zakrivljenih površina sprovedeno je korišćenjem metode najmanjih kvadrata, koristeći ovaj metod u kasnijem proračunima tranzijentnih procesa, mogu da se brzo i lako dobiju traženi parametre pri bilo kojem otvoru lopatica sprovodnog aparata, da se olakša proračun tranzijentnih procesa pumpne-turbine.

Predstavili su novi metod za preračunavanje karakteristike krive pumpne-turbine koji uključuje novu promenljivu u ovoj transformaciji, otvorenost lopatica sprovodnog aparata. Objasnili su da za reverzibilne agregate sa lopaticama sprovodnog aparata, treba da postoji promenljiva u ovoj transformaciji, otvorenost lopatica sprovodnog aparata, $y = Y/Y_r$, $Wh(x,y) = h/((n_{11}/n_{11r})^2 + (Q_{11}/Q_{11r})^2)$, $Wm(x,y) = M_{11} + M_{11r}/((n_{11}/n_{11r})^2 + (Q_{11}/Q_{11r})^2)$, prema tome $a \ge 0$ $x = \arctan [(Q_{11}/Q_{11r})/(n_{11}/n_{11r})]$, $a \le 0$ $x = \pi + \arctan [(Q_{11}/Q_{11r})/(n_{11}/n_{11r})]$, gdje su Q_{11} , n_{11} , M_{11} respektivni jedinični protok, brzina, obrtni moment, a Q_{11r} , n_{11r} , M_{11r} , respektivni nominalni protok, brzina i obrtni moment. Naveli su da kroz prethodne izraze konvertuju se krive, transformacije su uglavnom ravne krive na obje strane, i smanjuje se na obje strane ukrštanje i preklapanje, ali distribucija krive nije uniformna, pri manjim otvorima tada je kriva previše udaljena, pri većim otvori tada su krive suviše blizu. Objasnili su da u pumpnoj oblasti i anti-pumpnoj oblasti smanjena su ukrštanja i preklapanja ali nijesu potpuno eliminisana u krivini na lijevoj strani pada, postoji kriva gotovo vertikalna *x* osi, i može imati više vrijednosti. Naveli su da ovaj metod transformisanja krivih je i dalje sa nedostacima, tako da efekat interpolacije nije baš idealan, i da su neke korekcije napravljene na Suterovoj krivi uglavnom u ovom radu, i sledeći odnos konverzija je iznijet, $Wh(x,y) = y^2 / ((n_{11} / n_{11r})^2 + (Q_{11} / Q_{11r})^2) = (h / \alpha^2 + v^2) y^2$, $Wm(x,y) = ((M_{11} + k_1) / M_{11r}) y = (\beta / h + k_1 / M_{11r})y$, kada je $\alpha \ge 0$ $x = \arctan [(Q_{11} / Q_{11r} + k_2) / (n_{11} / n_{11r})] = \arctan [(v + k_2 \sqrt{h}) / \alpha]$, kada je $\alpha < 0$ $x = \pi + \arctan [(Q_{11} / Q_{11r} + k_2) / (n_{11} / n_{11r})] = \pi + \arctan [(v + k_2 \sqrt{h}) / \alpha]$, sada se spoznaje značaj koeficijenta - k_1 za koji su uzete vrijednosti od 1.0 do 1.8, i koeficijenta - k_2 za koje su uzete vrijednosti od 0,5 do 1.2 [10].

Tokom pregleda i analize navedenog rada posebnu pažnju autoru ove doktorske disertacije je privukao novi metod koji su autori u ovom radu razvili za preračunavanje karakteristika *Wh* i *Wm* pumpnih-turbina zasnovan na najmanjim kvadratima fitovanja površina i koji uključuje novu promenljivu u ovoj transformaciji a to je otvorenost lopatica sprovodnog aparata.

Li, H. Lin, H. Huang, W. Li, J. Zeng, M. Ma, J. Hu, X. A. (2021). *New Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of Centrifugal Pumps*. Energies 2021, 14, 8580. [15]

Li i ostali autori **[15]**, razvili su matematički model koji opisuje kompletne karakteristike centrifugalne pumpe. U ovom modelu se uspostavlja nelinearni funkcionalni odnos između parametara karakterističnih radnih tačaka (COPs) i specifične brzine. Glavni doprinos ovog rada je da kombinuje matematički model sa nelinearnom relacijom kako bi se uspešno predvidjele kompletne karakteristike pumpe (CPCs) za datu specifičnu brzinu. Autori su verifikovali razvijeni matematički model kroz studiju slučaja, a CPCs konstruisane prema matematičkom modelu izvedenom u ovom radu bili su u saglasnosti sa izmjerenim CPCs. Prelazni procesi na pumpnim stanicama mogu se uspešno simulirati metodom predviđanja CPCs koja je predložena u ovom radu.

Yu, J. Akoto, E. Degbedzui, D. K. Hu, L. (2023). *Predicting Centrifugal Pumps' Complete Characteristics Using Machine Learning*. Processes 2023, 11, 524. https://doi.org/10.3390/pr11020524 . **[16]**

Yu i ostali autori [16], analizirali su kompletne karakteristike centrifugalnih pumpi i razvili *model mašinskog učenja* za izračunavanje kompletne karakteristične krive i bezdimenzionalnih krivih pada i obrtnog momenta iz skupa podataka iz kvadranta III sa visokom preciznošću. Da bi dobili punu karakterističnu krivu zasnovanu na krivoj normalnih performansi od proizvođača, autori su razvili *model mašinskog učenja* koji predviđa pune i kompletne Suterove krive koristeći specifične brzine pumpe iz poznatih djelova Suterove krive. Oni su koristili ovaj model za mjerenje i predviđanje odnosa između podataka od tačaka u kvadrantu III i ni IV karakteristične krive performansi centrifugalne pumpe.

Zhou, W. Yu, D. Wang, Y. Shi, J. Gan, B. (2023). *Research on the Fluid-Induced Excitation Characteristics of the Centrifugal Pump Considering the Compound Whirl Effect*. Facta Univ. Ser. Mech. Eng. 2023, 21, 223–238. <u>https://doi.org/10.22190/FUME2105280657</u>. [17]

Zhou i ostali autori **[17]**, analizirali su centrifugalnu pumpu male specifične brzine sa ekscentriitetom radnog kola na osnovu N-S jednačina i simulirali rad pumpe koristeći RNG k-e model. Autori su proučavali promjenu sile indukovane fluidom u odnosu na ekscentricitet radnog kola, kao i nestacionarne karakteristike strujanja unutrašnjeg strujnog polja centrifugalne pumpe pri različitim uslovima strujanja i brzinama rotacije. Nadalje, oni su izvršili detaljnu analizu odnosa između sile indukovane fluidom radnog kola i karakteristika unutrašnjeg strujnog polja. Značajan doprinos ovog rada je to što daje važne referentne vrijednosti za tačno razumevanje principa koji definišu dinamičke karakteristike unutrašnjeg toka centrifugalne pumpe.

Zhou, W. Wang, Y. Li, C. Zhang, W. Wu, G. (2020). Analysis of Fluid-Induced Force of Centrifugal Pump Impeller with Compound Whirl. Alex. Eng. J. 2020, 59, 4247–4255. [18]

Zhou i ostali autori **[18]**, simulirali su centrifugalnu pumpu sa malom specifičnom brzinom pri uslovima ekscentrične montaže koristeći RNG k-e model turbulencije. Autori su proučavali silu indukovanu fluidom radnog kola centrifugalne pumpe sa složenim vrtlogom. Glavni dio istraživanja obuhvatao je ispitivanje uticaja različitih brzina protoka, ekscentriciteta radnog kola i odnosa vrtloga na silu radnog kola indukovanu fluidom. Važno zapažanje u ovom radu je da su rezultati izračunati s obzirom na ekscentricitet radnog kola bliži eksperimentalnim podacima nego rezultati izračunati kada se ekscentricitet ne uzima u obzir. Ovaj rad daje važnu referencu za dizajn centrifugalne pumpe i vibracije u interakciji fluid–struktura (FSI).

Walters, T. W. Dahl, T. Rogers, D. (2020). *Pump Specific Speed and Four Quadrant Data in Water hammer Simulation—Taking Another Look" auxiliary data files*. In Proceedings of the ASME 2020, Pressure Vessels and Piping Conference, Online, 3 August 2020; Volume 4. **[19]**

Walters i ostali autori **[19]**, na osnovu osnovnih oblika krive karakteristike pada i krive karakteristike snage u normalnoj radnoj zoni, autori su opisali nedostatke korišćenja specifične brzine i predstavili unapređen metod za odabir odgovarajućih podataka iz četvoro kvadrantnih karakteristika.

Li, H. Lin, H. Huang, W. Li, J. Zeng, M. Ma, J. Hu, X. A. (2021). *New Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of Centrifugal Pumps*. Energies 2021, 14, 8580. [20]

Li i ostali autori [20], razmatrali su novu metodu koja koristi inherentne radne karakteristike centrifugalne pumpe za predviđanje kompletnih karakteristika pumpe (CPCs). Autori su takođe razvili matematički model koji opisuje kompletne karakteristike centrifugalne pumpe. Oni su izvršili mjerenja za veći broj CPCs i utvrdili nelinearnu funkcionalnu vezu između parametara radnih tačaka karakteristika (COPs) i specifičnih brzina. Kombinovanjem matematičkog modela sa nelinearnim odnosom, uspešno su predvidjeli CPCs za date specifične brzine.

Zhang, L. Xu, H. Yu, Y.H. (2007). *Fitting method for pump complex characteristic curve based* on *B-spline*. Drain. Irrig. Mach. 2007, 25, 50–53. [21]

Zhang i ostali autori **[21]**, razvili su metod za uklapanje-fitovanje složenih karakterističnih krivih pumpe sa velikim odstupanjima i neravnomjerno raspoređenim tačkama podataka, koristeći kubni uniformni B-spline. Autori su u ovom radu dokazali da nova metoda dobro funkcioniše kada se uzme u obzir precizna konstrukcija podataka u širokoj oblasti u glatku krivu. Tokom testiranja nisu primećene smetnje izazvane slučajnim greškama.

Shao, W. Y. Zhang, X. (2004). A new simulation method of complete characteristic curves of reversible pump turbine moving least square approximation. J. Hydroelectr. Eng. 2004, 23, 102–106. [22]

Shao i ostali autori [22], simulirali su kompletnu karakterističnu krivu reverzibilne pumpe-turbine na osnovu površinskog uklapanja, primenjujući aproksimaciju najmanjih kvadrata (MLS) za ovu proceduru. Autori su takođe analizirali uticaj parametara MLS, kao i sledećih parametara: koeficijenta funkcije ponderisanja, broja tačaka u domenu oslonca, i skale poluprečnika domena oslonca. Takođe su analizirali kako ovi parametri utiču na rezultate proračuna.

Wang, L. Li, M. Wang, F.J. Wang, J.B. Yao, C.G. Yu, Y.S. (2017). *Study on three-dimensional internal characteristics method of Suter curves for double-suction centrifugal pump*. J. Hydraul. Eng. 2017, 48, 113–122. **[23]**

Wang i ostali autori **[23]**, razvili su metodu za određivanje trodimenzionalnih unutrašnjih karakteristika zasnovanu na Computational fluid dynamics (CFD) tehnologiji kako bi se brzo i precizno dobile Suterove krive centrifugalnih pumpi sa dvostrukim usisom. Ovaj metod uključuje trodimenzionalno modeliranje, podešavanje uslova rada pumpe, simulaciju polja protoka pumpe i transformaciju rezultata. Glavni doprinos ove metode je da se, korišćenjem CFD tehnologije, odnosi između protoka, brzine, pada i obrtnog momenta mogu precizno izračunati pod određenim radnim uslovima pumpe.

Gros, L. Couzinet, A. Pierrat, D. Landry, L. (2011). *Complete pump characteristics and 4quadrant representation investigated by experimental and numerical approaches*. In Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2011 Joint Fluids Engineering Conference, Hamamatsu, Japan, 24– 29 July 2011; Volume 1, pp. 359–368. **[24]**

Gros i ostali autori **[24]**, proučavali su četvorokvadrantne karakteristike radnih krivih centrifugalne pumpe, koristeći eksperimentalne i numeričke pristupe tokom ispitivanja. U njihovim CFD proračunima analiziran je širok raspon brzina protoka centrifugalne pumpe. Oni su analizirali ponašanje pumpe u četiri kvadranta tokom prelaznih režima i zaključili da su rezultati numeričke simulacije zasnovane na osnovu dva modela jednačine turbulencije u dobroj saglasnosti sa eksperimentalnim rezultatima.

Thanapandi, P. Prasad, R. (1995). *Centrifugal pump transient characteristics and analysis using the method of characteristics*. Int. J. Mech. Sci. 1995, 37, 77–89. [25]

Thanapandi i ostali autori **[25]** izvršili su teorijsko i eksperimentalno istraživanje prelaznih karakteristika centrifugalne pumpe u dva režima rada: startovanju i zaustavljanju. Za analizu dinamičkih karakteristika pumpe korišćen je numerički model zasnovan na metodi karakteristika. Autori su zaključili da dinamičke karakteristike pumpe pokazuju značajno odstupanje od karakteristika stacionarnog stanja; pa bi se razvijeni numerički model mogao primijeniti za analizu čisto nestacionarnih slučajeva.

Höller, S. Benigni, H. Jaberg, H. (2016). *Investigation of the 4-Quadrant behaviour of a mixed flow diffuser pump with CFD-methods and test rig evaluation*. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2016, 49, 032018. **[26]**

Höller i ostali autori [26], uporedili su rezultate dobijene korišćenjem opreme za ispitivanje i numeričkih metoda za model difuzione pumpe mešovitog protoka i zaključili da postoji izuzetno dobra saglasnost između njih. Takođe su potvrdili da se ponašanje četvorokvadrantnih karakteristika difuzione pumpe sa mješovitim protokom može pouzdano simulirati primjenom CFD metode. Oni su uspješno primijenili numerički model za izračunavanje vrijednosti koje opisuju ponašanje četvoro kvadrantih karakteristika tokom proračuna hidrauličkog udara.

Huang, S. Qiu, G. Su, X. Chen, J. Zou, W. (2017). *Performance prediction of a centrifugal pump as turbine using rotor-volute matching principle*. Renew. Energy 2017, 108, 64–71. **[27]**

Huang i ostali autori [27], razvili su inovativni teorijski pristup za predviđanje brzine protoka i pritiska u tački najbolje efikasnosti (BEP) za pumpni režim i turbinski režim na osnovu principa usaglašenosti karakteristika između radnog kola i spiralnog kućišta. Glavni doprinos ovog rada bio je izvođenje teorijske formule za karakteristike radnog kola u turbinskom režimu. Za ovo izvođenje korišćena je Ojlerova jednačina rotacionih mašina, kao i odnos brzina na ulazu i izlazu radnog kola. Metoda razvijena u ovom radu verifikovana je eksperimentima sa tri tipa pumpi u pumpnom i turbinskom režimu, što je dalo dobre rezultate.

Wan, W. Huang, W. (2011). *Investigation on complete characteristics and hydraulic transient of centrifugal pump.* J. Mech. Sci. Technol. 2011, 25, 2583–2590. **[28]**

Wan i ostali autori **[28]**, razvili su poboljšanu metodu pomoću koje se mogu dobiti kompletne karakteristike centrifugalne pumpe. Za ovu metodu, na osnovu normalnih krivih performansi, uspostavljena je formula za konverziju kompletnih karakteristika. Ovom novorazvijenom metodom dobijene su kompletne karakteristične krive centrifugalne pumpe 14SA-10.

Lima, G. M. Luvizotto Júnior, E. (2017). *Method to estimate complete curves of hydraulic pumps through the polymorphism of existing curves*. J. Hydraul. Eng. 2017, 143, 04017017. **[29]**

Lima i ostali autori **[29]**, razvili su metod za predviđanje kompletnih krivih pumpi koristeći samo podatke o normalnom radu, zajedno sa krivama iz drugih mašina sa sličnim specifičnim brzinama. Za modelovanje kompletnih krivih, autori su koristili trigonometrijske serije i konduktovanu optimizaciju skupa podataka (PSO) za fitovanje - prilagođavanje koeficijenata. Autori su simulirali isključivanje pumpe, uporedili dobijene rezultate sa rezultatima laboratorijskih ispitivanja i verifikovali razlike korišćenjem modelske krive i slične krive.

Hu, X. Y. Yu, B. Guo, J. Wang, S. K. (2012). *Visualization for predictable model of complete characteristic curve of pump*. Fluid Mach. 2012, 3, 37–39. [30]

Hu i ostali autori **[30]**, dali su značajan doprinos tako što su razvili trodimenzionalni Dekartov koordinatni sistem sa relativnim uglom protoka, specifičnom brzinom i *Wh* (ili *Wm*) vrijednošću kao nezavisnim promenljivim, a zatim su interpolirali ove vrijednosti bikubičnim polinomom da bi razvili trodimenzionalni površinski vizuelni model za predviđanje CPCs. Još jedan značajan doprinos ovog rada je da su predviđene krive u osnovi odgovarale izmjerenim podacima.

Zhu, M. L. Zhang, X. H. Zhang, Y. H. Wang, T. (2006). *Study on prediction model of complete characteristic curves of centrifugal pumps*. J. Northwest Sci-Tech. Univ. Agric. For. Nat. Sci. Ed. 2006, 4, 143–146. **[31]**

Zhu i ostali autori **[31]**, razvili su novu formulu za podešavanje kompletnih karakteristika pumpe (CPCs) metodom najmanjih kvadrata uzimajući u obzir specifičnu brzinu, relativni ugao protoka i karakteristične parametre koji odgovaraju uslovu nultog protoka kao nezavisne varijable.

Yang, Y. S. Dong, R. Jing, T. (2010). *Influence of Full Characteristic Curve on Pump-off Water Hammer and Its Protection*. China Water Wastewater 2010, 26, 63–66. **[32]**

Yang i ostali autori **[32]**, na osnovu analize pune karakteristične krive pumpe i korišćenjem univerzalne formule i metoda najbližih suseda, autori su razvili metod za dobijanje diskretnih numeričkih podataka pune karakteristične krive pumpi sa različitim specifičnim brzinama. Autori su takođe utvrdili da je, prema teoriji sličnosti, teorijski izvodljivo izvršiti numeričku rekonstrukciju pune karakteristične krive pumpe i da su pune karakteristične krive pumpi sa različitim specifičnim brzinama veoma različite. Za pumpe istog tipa, razlika između karakterističnih krivih je mala, a ove krive su veoma slične nakon numerisanja krivih.

Huang, B. Wu, P. Liu, X. S. Feng, X. D. Yang, S. Wu, D. Z. (2020) *Four-quadrant Full Characteristic Model Test of the ACP100 Reactor Coolant Pump*. Fluid Mach. 2020, 48, 8–11. [33]

Huang i ostali autori **[33]**, izvršili su testiranje u punom opsegu performansi četvoro kvadrantnih karakateristika uzimajući u obzir hidraulički model ACP100 pumpe sistema za hlađenje reaktora kroz test smanjene brzine. Dobijeni podaci za četvorokvadrantne krive su potpuni, a podaci su bili efikasni za dalje analize prelaznih procesa pumpe i proračun prelaznih termo-hidrauličnih karakteristika cjelokupnog rashladnog sistema reaktora.

Huang, W. Yang, K. Guo, X. Ma, J. Wang, J. Li, J. (2018). *Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of a Francis Pump-Turbine*. Water 2018, 10, 205. **[34]**

Huang i ostali autori **[34]**, razvili su metod za predviđanje kompletnih karakteristika Francisove pumpe-turbine. Da bi razvili ovu metodu, koristili su Ojlerove jednačine i trouglove brzine na radnom kolu i dobili matematički model koji opisuje kompletne karakteristike Francisove pumpe-turbine. Glavni doprinos ovog rada je da su koristili kombinovani razvijeni matematički model sa regresionom analizom karakterističnih radnih tačaka (COPs) kako bi se predvidjele potpune karakteristične krive za proizvoljne specifične brzine.

Dai, C. Dong, L. Lin, H. Zhao, F. (2020). A Hydraulic Performance Comparison of Centrifugal Pump Operating in Pump and Turbine Modes. J. Therm. Sci. 2020, 29, 1594–1605. [35]

Dai i ostali autori **[35]**, analizirali su kako modifikacije na radnom kolu mogu imati različite efekte na centrifugalnu pumpu koja radi u režimu pumpe i turbine. Oni su koristili CFD metodu za dobijanje hidrauličnih performansi centrifugalne pumpe niske specifične brzine koja radi u oba režima i eksperimentalno su verifikovani dobijeni rezultati. Uporedili su turbinu i pumpu i zaključili da je pumpa pokazala očiglednije varijacije pada. Dobijeni rezultati imaju veliki značaj za poboljšanje hidrauličnih performansi i u pumpnom i u turbinskom režimu, kroz modifikaciju geometrije radnog kola.

Wang, W. Guo, H. Zhang, C. Shen, J. Pei, J. Yuan, S. (2023). *Transient characteristics of PAT in micro pumped hydro energy storage during abnormal shutdown process*. Renew. Energy 2023, 209, 401–412. **[36]**

Wang i ostali autori [36], koristeći metodu konačnih zapremina (ANSIS CFKS) i opremu za dvosmjerno ispitivanje, autori su analizirali nestabilne karakteristike unutrašnjeg protoka i vremensko-frekventne karakteristike fluktuacija pritiska pumpe kao turbine (PAT) nakon procesa gašenja. Autori su dali značajan doprinos otkrivanjem karakteristika tranzijentnog pražnjenja tokom procesa ispada pumpe mešovitog protoka kao turbine. Ovo istraživanje je veoma važno za bezbjedan tranzijenti rad pumpe kao turbine.

Brown, R. J. Rogers, D. C. (1980). Development of Pump Characteristics from Field Tests. J. Mech. Des 102(4) 807-817. [5]

Brown i ostali autori [5] analizirali su odnos između specifične brzine (nq) modela pumpi (radijalna, poluaksijalna i aksijalna) i *Wh* i *Wm* karakteristika, kao i njihov uticaj na vrijednosti dobijene tokom mjerenja i proračuna prelaznih procesa na instalaciji sa pumpama u sistemu Južna Nevada. Doneseni su značajni zaključci da *Wh* i *Wm* karakteristike radijalnih pumpi ne variraju proporcionalno specifičnoj brzini (nq), dok za poluaksijalne i aksijalne pumpe *Wh* i *Wm* karakteristike variraju proporcionalno specifičnoj brzini (nq). Razvijen je numerički kod za analizu uticaja specifične brzine (nq) na karakteristike *Wh* i *Wm* za jedanaest modela pumpi. Rezultati su u skladu sa rezultatima merenja na sajtu. Takođe je utvrđeno da je za radijalne pumpe uticaj specifične brzine (nq) i karakteristika *Wh* i *Wm* takav da teži povećanju pritiska u sistemu tokom proračuna prelaznih procesa. Takođe su došli do zaključka da pumpe sa istom specifičnom brzinom (nq) imaju značajno različite karakteristike *Wh* i *Wm*.

Li, Z. Bi, H. Karney, B. Wang, Z. Yao, Z. (2017). *Three-dimensional transient simulation of a prototype pump-turbine during normal turbine shutdown*. J Hydraulic Res, 55(4), p. 520-537. [10]

Li i ostali autori **[10]** izvsili su 3D numeričke simulacije pomoću komercijalnog softvera STAR-CCM+ da bi se istražili hidraulične prelazne procese i ponašanje protoka prototipa pumpe-turbine tokom normalnog procesa gašenja. Globalne karakteristike i fluktuacije

pritiska su analizirani dok pumpa-turbina prolazi kroz turbinski režim, režim kočenja turbine, i konačno režim reverzne pumpe.

Casartelli, E. Del Rio, A. Mangani, L. Schmid, A. (2022). *Capturing the S-shape of pump-turbines by computational fluid dynamics simulations using an anisotropic turbulence model*. Journal of Fluids Engineering, 144(2), 021203. **[37]**

Casartelli i ostali autori **[37]** prikazali su proračune tri različita dinamička uslova rada pumpe i turbine. Rezultati, koristeći stabilne granične uslove (BC) u nestabilnom regionu, kao i tranzijentne uslove BC kao što su odbacivanje opterećenja i pobjeg, izračunati su pomoću EARSM-a, pokazujući njegovu superiornost u poređenju sa linearnim modelima dvije jednačine.

Xia, L. S. Zhang, C. Z. Li, H. (2021). *Influences of runner blade shape on the transient behaviours of pump-turbines in load rejection*. Journal of Hydraulic Research, Volume 59, 2021 - Issue 3. [38]

Xia i ostali autori **[38]** analizirani su procesi rasterećenja opterećenja na dva modelne pumpe-turbine sa istom specifičnom brzinom, ali različitim ulaznim oblikom lopatica radnog kola, metodom 3D numeričke simulacije.

Hu, J. Yang, J. Zeng, W. Yang, J. (2019). *Constant-speed oscillation of a pump-turbine observed on a pumped-storage model system*. Journal of Fluids Engineering, 141(5), 051109. **[39]**

Hu i ostali autori **[39]** izvršili su analizu hidrauličnih karakteristika pumpnih-turbina u izvan-projektantskim uslovima, posebno karakteristike *S*-oblika, koje su ključne za bezbjednost i stabilnost agregata. Da bi se istražile *S*-karakteristike pumpnih-turbina tokom tranzijentog procesa, sprovedeno je eksperimentalno istraživanje zasnovano na sistemu modela pumpno akumulacione elektrane na Univerzitetu Wuhan i predstavljeno u ovom radu.

Li, D. Qin, Y. Zuo, Z. Wang, H. Liu, S. Wei, X. (2019). *Numerical simulation on pump transient characteristic in a model pump-turbine*. Journal of Fluids Engineering, 141 (11), 111101. **[40]**

Li i ostali autori [40] su izvršili analizu promjenu protoka tokom prelaznih procesa koji se povećavao i smanjivao u pumpnom režimu modela pumpne-turbine simulirani su kroz nestacionarne simulacije korišćenjem $k-\omega$ modela turbulencije (SST - transport smičućeg naprezanja). Radne karakteristike u pompom modu kod pumpne-turbine tokom prelaznih procesa značajno se razlikuju od onih u stacionarnim procesima i analizirane su u ovom radu.

Ran, H. Luo, X. (2018). *Experimental study of instability characteristics in pump-turbines*. Journal of Hydraulic Research, 56(6), p. 871-876. **[41]**

Ran i ostali autori **[41]** su izveli eksperimente na modelu pumpne-turbine srednje specifične brzine da bi istražili karakteristike nestabilnosti u pumpnom režimu, odnosno fenomen trenutnog smanjenja pada. Dvije različite vrijednosti za trenutno smanjenje pada su uhvaćena na krivoj performansi u pumpnom režimu. Prikazana su i eksperimentalna istraživanja fenomena trenutnog smanjenja pada, sa protokom koji varira od 0,6 do 0,7 puta od projektovanog protoka u skaliranom modelu.

Xiuli, M. Giorgio, P. Yuan, Z. (2018). *Francis-type reversible turbine field investigation during fast closure of wicket gates*. Journal of Fluids Engineering, 140(6), 061103. **[42]**

Xiuli i ostali autori **[42]** analizirali su karakteristike protoka tokom tranzijentong proces za reverzibilnu pumpu-turbinu tipa Francis u režimu generisanja pomoću 3D numeričke simulacije sa tehnikom pokretne mreže koristeći turbulentni model simulacije odvojenih vrtloga (DES).

Xia, L. S. Cheng, Y. G. You, J. Zhang, X. Yang, J. Qian, Z. (2017). *Mechanism of the S-shaped characteristics and the runaway instability of pump-turbines*. Journal of Fluids Engineering, 139(3), 031101. **[43]**

Xia i ostali autori [43] analizirali su postupak za razumijevanje mehanizma formiranja karakteristika u obliku slova S (SSCs) i odnosa između struktura protoka i nestabilnosti u pobjegu (RI), da bi optimizovao dizajn radnog kola za unapređenje operativne pouzdanosti i fleksibilnosti. Izvedena je nova jednačina turbine da bi se otkrio glavni uzrok SSCs i analiziran je uticaj geometrijskih parametara na SSCs.

Zhang, X. Cheng, Y. G. Xia, L. S. Yang, J. Qian, Z. (2016). *Looping dynamic characteristics of a pump-turbine in the S-shaped region during runaway*. Journal of Fluids Engineering, 138(9), 091102. **[44]**

Zhang i ostali autori **[44]** izvršili su analizu prelaznog procesa, kada hidroturbine mogu pokazati neke dinamičke karakteristike koje se razlikuju od odgovarajućih statičkih karakteristika u stabilnim uslovima rada.

Zeng, W. Yang, J. Hu, J. Yang, J. (2016). *Guide-vane closing schemes for pump-turbines based on transient characteristics in S-shaped region*. Journal of Fluids Engineering, 138(5), 051302. **[45]**

Zeng i ostali autori **[45]** analizirali su da tokom prelaznih procesa rasterećenje opterećenja u pumpno-akumulacionoj hidroelektrani, karakteristike pumpne-turbine u obliku slova *S* mogu da dovedu do relativno velikih hidrauličkih udara i pulsirajućih pritisaka. Ovi pritisci i velika brzina kretanja tokom prelaznih procesa mogu direktno oštetiti cjevovode i skratiti vek trajanja turbine. U ovom radu su istražene različite šeme zatvaranja lopatica sprovodnog aparata za smanjenje maksimalnih prelaznih pritisaka, uključujući vodeni udar i pulsirajući pritisak i brzinu pobjega, a teorijski su analizirani principi za poboljšanje šema zatvaranja na osnovu prelaznih karakteristika u region *S* karakteristike.

Cavazzini, G. Covi, A. Pavesi, G. Ardizzon, G. (2016). Analysis of the unstable behavior of a pump-turbine in turbine mode: Fluid-dynamical and spectral characterization of the S-shape characteristic. Journal of Fluids Engineering, 138(2), 021105. [46]

Cavazzini i ostali autori **[46]** razvili su numeričku analizu nestabilnog ponašanja pumpe-turbine koja radi u turbinskom režimu u blizini stanja praznog hoda. Da bi se proučile nestabilne pojave koje dovođe do *S*-oblika karakteristike turbine, numerički je analiziran scenario rasterecenja opterećenja pri konstantnom i velikom otvaranju lopatica sprovodnog aparata prolaskom kroz karakteristiku brzina-protok do oblasti kočiong moda kod turbine.

Zeng, W. Yang, J. Guo, W. (2015). *Runaway instability of pump-turbines in S-shaped regions considering water compressibility*. Journal of Fluids Engineering, 137(5), 051401. **[47]**

Zeng i ostali autori **[47]** izvršili su analizu da karakteristike pumpne-turbine u velikoj mjeri utiču na radnu stabilnost pumpno-akumulacionih hidroelektrana. Konkretno, oblast sa *S* karakterističnom krivom dovodi do ozbiljne nestabilnosti u uslovima pobjega sa otkazom servomotora. Autori us istražili kriterijum stabilnosti tokom pobjega pumpne-turbine uzimajući u obzir sve bitne efekte u hidromehaničkom sistemu.

Sun, H. Xiao, R. Liu, W. Wang, F. (2013). *Analysis of S-characteristics and pressure pulsations in a pump-turbine with misaligned guide vanes*. Journal of Fluids Engineering, 135(5), 051101. **[48]**

Sun i ostali autori **[48]** izvršili su analizu da rad pumpne-turbine duž karakteristične krive *S*-oblika može dovesti do poteškoća u procesu rasterećivanja opterećenja sa neuobičajenim povećanjem pritiska na pumpnoj-turbini. Oscilacije pritiska su primarni razlog za nestabilan rad

pumpnih-turbina. Neusklađene vodeće lopatice (MGV) se široko koriste za kontrolu stabilnosti u regionu karakteristika u obliku slova *S*.

Huang, W. Yang, K. Guo, X. Ma, J. Wang, J. Li, J. (2018). *Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of a Francis Pump-Turbine*, Water, 10, 205. **[49]**

Huang i ostali autori **[49]** dali su značajan doprinos, razvili su metod za predviđanje kompletnih četvorokvadrantnih karakteristika Francisove pumpne-turbine. Razvijen je matematički model koji opisuje kompletne četvorokvadrantne karakteristike Francisove pumpneturbine, a kao osnova za razvoj ovog matematičkog modela korišćene su Ojlerove jednačine i trouglovi brzine na radnim kolima. Najvažniji doprinos ovog rada ogleda se u kombinaciji razvijenog matematičkog modela sa regresionom analizom COPs, na osnovu kojih se predviđaju kompletne četvorokarakteristične krive za proizvoljnu specifičnu brzinu.

Pejovic, S. Krsmanovic, Lj. Jemcov, R. Crnkovic, P. (1976). Unstable Operation of High-Head Reversible Pump-Turbines. 8th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery Equipment and Cavitation, Leningrad, USSR, Paper III-2. [50]

Pejović i ostali autori **[50]** analizirali su prelazne procese na reverzibilnim pumpnoturbinskim agregatima, koji su uzrokovani naglim rasterećenjem jedne ili dvije reverzibilne pumpne-turbine. Autori ovog rada su izvršili i analizu rada pumpne-turbine u zoni gdje može doći do rezonancije usled nestabilnosti pumpe i turbine u zoni pobjega. Zaključili su da se u hidroelektranama sa pumpnim-turbinama velike snage i velikog pada u pojedinim djelovima postrojenja javljaju ozbiljne fluktuacije pritiska i dinamička naprezanja. Takođe su zaključili da bilo kakva asimetrija u agregatima, kao što su različita opterećenja, razlike između pumpeturbine i motora-generatora, razlike u procesu zatvaranja ulaznog zatvarača i lopatica sprovodnog aparata, asimetrija u rasporedu komponetni hidroelektrane, konstrukcije elektrana i sl. izaziva fazni pomak a usled nestabilnosti značajno dolazi do povećanja amplituda pulsiranja pritiska.

Zeng, W. Yang, J. Cheng, Y. G. (2015). *Construction of Pump -Turbine Characteristics at Any Specific Speed by Domain-Partitioned Transformation*, ASME Journal of Fluids Engineering, 137(3), 031103. [51]

Zeng i ostali autori **[51]** uradili su projektovanje skupa četvorokvadrantnih karakteristika pumpnih-turbina, što je od velikog značaja, kada se odgovarajuće četvorokvadrantne karakteristike pumpnih-turbina ne mogu koristiti za zamjenu pri istoj specifičnoj brzini. Veliki doprinos ovog rada ogleda se u razvijenoj novoj metodi za karakterizaciju pumpnih-turbina pri bilo kojoj specifičnoj brzini koristeći bazu podataka od 25 dostupnih skupova modela četvorokvadrantnih karakteristika pumpnih-turbina. Autori ovog rada su verifikovali razvijenu metodu upoređivanjem sa izmjerenim modelskim četvorokvadrantnim karakterističnim krivama pumpnih-turbina sa razumnom tačnošću.

Simpson, A. R. Marchi, A. (2013). *Evaluating the approximation of the affinity laws and improving the efficiency estimate for variable speed pumps*. Journal of Hydraulic Engineering, 139(12), 1314-1317. **[52]**

Simpson i ostali autori **[52]** su izvršili detaljnu analizu zakona afiniteta koji se odnose na četvorokvadrantne karakteristike pumpi koje rade pri različitim brzinama, a u kontekstu distribucije vode, zakoni afiniteta se obično koriste za predviđanje krive pumpe za pumpe sa promenljivom brzinom. Istraživanje objavljeno u ovom radu procenjuje grešku efikasnosti za širok raspon veličina pumpi i testira upotrebu razvijene formule u ovom radu kao alternative zakonima afiniteta. Rezultati pokazuju da se ovom formulom može postići bolja procena efikasnosti malih i srednjih pumpi. Štaviše, glavni doprinos je da se formula može lako implementirati u proračunima hidrauličkih sistema sa pumpama. Martin C. S. (2008). *Pumped Storage*, Section 12.14 of McGraw-Hill Pump Handbook, Fourth Edition, 2008. **[53]**

Martin je izvršio detaljnu analizu četvorokvadrantnih krivih pumpnih turbina i došao do sledećih zaključaka [53]. Potrebne su četvorokvadrantne krive za numeričke simulacije u pumpnim akumulacionim hidroelektranama, pošto stvarni potencijal za pojavu prolaznih pojava tokom hidrauličkog udara postoji uglavnom zbog isključenja iz električne mreže. Za preliminarne analize, tri najgora scenarija su: (a) potpuno rasterećivanje snage na svih radnim agregatima, (b) nestanak struje na pumpi tokom procesa rada pumpe i (c) prihvatanje opterećenja - povećanje snage sa nula do nominalne vrijednosti. Dodatno za konačne analize, može se garantovati više slučajeva prelaznih procesa: odbacivanje punog opterećenja sa pumpne-turbine sa zatvaranjem lopatica sprovodnog aparata, odbacivanje punog opterećenja sa pumpne-turbine sa zatvaranjem glavnog ulaznog ventila (predturbinski zatvarač) i zaključanim lopaticama sprovodnog aparata, prihvatanje punog opterećenja od brzine bez opterećenja, nestanak struje na pumpi sa zatvaranjem lopatica sprovodnog aparata, nestanak struje na pumpi sa zatvaranjem glavnog ulaznog zatvarača, pokretanje pumpe iz sinhronizacije, normalno brzo zatvaranje turbine, normalno brzo zatvaranje pumpe, smanjenje proizvodnog opterećenja tokom procesa rada turbomašine, povećanje proizvodnog opterećenja tokom procesa rada turbomašine, odbacivanje opterećenja praćeno prihvatanjem opterećenja, prihvatanje opterećenja praćeno odbacivanjem opterećenja, prihvatanje opterećenja praćeno normalnim brzim zaustavljanjem turbomašine, neispravnost amortizacionog hoda regulatora, što rezultira većom stopom zatvaranja lopatica sprovodnog aparata tokom cijelog hoda, zatvaranje lopatica sprovodnog aparata od brzine bez opterećenja, stabilnost regulatora, fenomen rezonancije.

Suter P. (1966). *Representation of pump characteristics for calculation of water hammer*. Sulzer Technical Review, Research No. 66. pp 45-48. **[13]**

Suter je osmislio bezdimenzionalni prikaz krivih četvorokvadrantnih karakteristika (bezdimenzionalne promenljive Wh – karakteristika pada i Wm – karakteristika momenta) koji je veoma pogodan za korišćenje u računaru tokom proračuna prelaznih procesa na turbomašini **[13]**.

Više detalja o prethodno navedenim radovima može se sagledati u (Prilogu - P1) -Stručni prilozi (detaljna analiza navedenih referenci), koji je priložen uz ovu doktorsku disertaciju.

3. Prethodno obavljena lična istraživanja

3.1 Eksperimentalna istraživanja

Eksperimentalno određivanje četvorokvadrantnih krivih karakteristika (N_{11}, Q_{11}, M_{11}) u laboratorijama sa instalacijama pumpnih-turbina u Beču – Austrija (Institute for Energy Systems and Thermodynamics - Vienna University of Technology) i Wuhan – Kina (State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science – Wuhan University, P.R.China).

U navedenim laboratorijama nalaze se instalacije modela pumpnih-turbina, u laboratoriji u Beču nalazi se instalacija jedne pumpne turbine nq = 41,6 dok u laboratoriji u Wuhan nalaze se instalacije dvije pumpne turbine sa istim nq = 38 kod kojih su različiti geometrijski profili lopatica radnih kola i ulazne ivice. Tokom boravka u navedenim laboratorijama urađena su mjerenja različitih radnih režima u sva četiri kvadranta pumpnih-turbina u stacionarnom i nestacionarnom stanju.

<u>U laboratoriji Institute for Energy Systems and Thermodynamics - Vienna University</u> <u>of Technology</u> - prvo je autor ove doktorske disertacije upoznat sa kompletnom instalacijom modela pumpne-turbine koja je instalisana u ovoj laboratoriji (gornji i donji rezervora pod pritiskom, dovodni i odvodni cjevovod, predturbinski zatvarač, model pumpne-turbine) i prezentovan je autoru ove doktorske disertacije kompletan mjerni sistem sa pozicijama mjernih instrumenata (instumenti za mjerenje pritiska duž dovodnog i odvodnog cjevovoda, spiralnog kućišta, sifona, instrumenta za mjerenje broja obrtaja, instrumenta za mjerenje momenta na turbinskoj osovini, instrumenta za mjerenje snage na generatoru, instumenta za mjerenje otvora lopatica sprovodnog aparata i pomjeraja klipa servomotora). Zatim je autor ove doktorske disertacije upoznat sa kompletnom opremom u kontrolnoj sobi u kojoj se skupljaju svi podaci izmjereni na instalaciji pumpne-turbine, u kontrolnoj sobi vrši se njihova obrada i pretvaranje iz analogno u digitalni oblik, na monitoru se prati mjerenje radnih tačaka na četvoro-kvadrantnim krivima karakeristika.

Tokom mjerenja na instalaciji pumpne turbine nq = 41.6 u Laboratoriji za hidraulične turbine - Institute for Energy Systems and Thermodynamics Vienna University of Technology, od 22.10.2012 do 26.10.2012, autor ove doktorske disertacije učestvovao je u montiranju mjerne opreme, samom procesu mjerenja oko 100 mjernih tačaka na dvije četvoro-kvadrantne krive za dva otvora lopatica sprovodnog aparata, mjerenja su obavljena u stacionarnom stanju u cijelom području četvoro-kvadrantnih krivih karakteristika: pumpni režim, kočenje-energetska disipacija, turbinski režim do linije pobjega i nastavak u režimu kočenja, reverzibilni pumpni režim, start u pumpnom režimu, i analizi dobijenih rezultata. Tokom ovih mjerenja osoblje laboratorije i autor ove doktorske disertacije ispitivali su pumpnu turbinu u sva četiri kvadranta za dva otvora lopatica sprovodnog aparata 12 mm i 22 mm i snimili oko 100 mjernih tačaka, čiji su rezultati prikazani u narednom dijelu teksta i navedenim u narednim tabelama ove doktorske disertacije. Ovo je bila jedinstvena prilika za autora ove doktorske disertacije da se upozna sa kompletnim procesom mjerenja na modelu pumpne-turbine, da prati i analizira promjene fizičkih veličina i pojave koje se dešavaju tokom rada pumpne-turbine i da se upozna koliko je složen proces u fizičkom smislu na pumpnoj-turbini tokom rada pumpne-turbine u sva četiri radna režima: normal pump mod – (negativna brzina obrtanja, pozitivan moment, negativan protok); mod energetske disipacije – (negativna brzina obrtanja, pozitivan moment, pozitivan protok); normalni turbinski mod – (pozitivna brzina obrtanja, pozitivan moment, pozitivan protok); reverzibilni pumpi mod – (pozitivna brzina obrtanja, negativan moment, negativan protok). Na navedenim mjerenjima autor ove doktorske disertacije imao je jedinstvenu priliku za fizički doživi što se dešava sa turbomašinom - pumpnom turbinom kada prolazi kroz sva četiri radna kvadranta, kolike su nestabilnosti i haotičnost tokom prelaza iz pumpnog režima u turbinski režim (zona energetske disipacije - protok, moment i broj obrtaja mijenju znak i smjer), i koliko je teško izmjeriti moment, protok i broj obrtaja u ovom radnom režimu. Takođe slična situacija se dešava tokom prelaska sa turbinskog režima u pumpni režim (revrezibilni pumpni režim protok, moment i broj obrtaja mijenju znak i smjer), javljaju se nestabilnost i haotičnost tokom ovog prelaza. Jako je teško izmjeriti moment, protok i broj obrtaja u ovom radnom režimu.

Ova ispitivanja predstavljaju za autora ove doktorske disertacije i samu doktorsku disertaciju neprocjenjiv značaj i vrijednost, ovo je bila jedinstvena prilika koja je pružena autoru ove doktorske disertacije da prisustvuje ovako složenim i kompleksnim ispitivanjima na pumpnoj-turbini i stekne neprocjenjiva inženjerska znanja, na čemu je posebno zahvalan domaćinu Prof. Dr.-Ing.Christian Bauer, Head of Institute Vienna University of Technology, Institute for Energy Systems and Thermodynamics, Department of Fluid-Flow-Machinery i Institute Vienna University of Technology. Na osnovu svega što je autor ove doktorske disertacije prošao kroz navedena mjerenja došao je do zaključka da nijedan inženjer nije kompletan dok neprođe nešto ovako, a ova se prilika autoru ove doktorske diesrtacije ukazala u oktobru mjesecu 2012 godine.

<u>Laboratorija Beč rezultati mjerenja</u> - Tokom mjerenja osoblje laboratorije i autor ove doktorske disertacije su ispitivali pumpnu-turbinu nq = 41,6 u sva četiri kvadranta za dva otvora lopatica sprovodnog aparata 12 mm i 22 mm i snimili oko 100 mjernih tačaka, čiji su rezultati prikazani u narednim tabelama.

Laboratorija Be	č - Podaci	performansi	pumpne turb	ine $nq = 4$	41,6								
-		pump		-	turbine	bine							
	rated	max. head	min. head	rated	max. head	min. head							
n			400				rpm						
Q	72,85	56,2	72,8	81	87	78,8	m^3/s						
н	357,2	411	358	380	400,7	340,5	m						
nq	41,6	32,9	41,5	41,8	41,7	44,8	rpm						
Constants													
d2a	0,48752	m											
D2a	4,25	m											
step-up	8,71759	-											
gamma	9,7858	8 kN/m^3	specific weight of water at 15°C										

т Ted= gamma*H*D^3

Str. 50 od 600

			- Pro						20.00					•					
Constants	• 0.00475 m/r47					according IEC 60193 acc						uest			torque i = 1m + Mr				
Constants:	5	9,808473	m/srz			neu =	n-0/E-0.5				wed_v =	W-0_28/E*	0.5						
	density mo	1000	Kg/m^s			QED =	Q/(0^2*E^0.5)				qea_v =	0/(0_28^2	Endial						
	gamma	9,7858	KN/m^3	standard de	insity water	TED =	T/(rho-d^3-g-H)				ted_v =	T/(gamma.	d_28^3*H)		sign:	- pump			
Cross sections	inlet	0,06193	m^2	(Turbine)												+ turbine			
	outlet	0,255476	m^2	(Turbine)		H=	dp/(rho*g)+(c_2^2	c_1^2)/2*8	Head		E=g"H	specific hyd	traulic energy						
charackteristic dime	ension	0,27642	m	đ			c_1,2=Q/A1,2	velocities											
		0,48752	m	d_2a															
systematic Error:	Q	0,25	P	0,2	т	0,1	Speed	1/60rpm	Friction	0,2		for detailed	error calcula	tions see DIN	1319!!!				
Time	Head dp (bar)	Discharge Q (I/s)	s_Head dp (bar)	s_Q (I/s)	Troque Tm (Nm)	Speed n (rpm)	Friction Mr (Nm)	s_Tm (Nm)	s_Speed (rpm)	s_Mr (N)	H (m)	wed_v	qed_v	ted_v	nED	QED	TED	Gate (mm)	
24.10.2012 11:38	0,447225	-127,424193	0,008368	3,086718	204,024226	-300,783678	-3,573063	4,295857	1,600461	0,124114	4,762721	-3,740629	-0,07844	37,117594	-0,33755	-0,244006	0,203174	12,040002	
24.10.2012 11:40	0,504926	-123,354093	0,008625	3,086059	202,38046	-501,017941	-3,537964	4,846961	1,50094	0,149273	5,338233	-3,534881	-0,071725	32,850201	-0,31898	-0,223116	0,179815	12,040002	
24.10.2012 11:41	0,56249	-118,13934	0,009026	3,107284	199,466194	-501,729076	-3,481469	4,507118	1,335976	0,14467	5,909353	-3,364493	-0,065289	29,248841	-0,30361	-0,203096	0,160102	12,040002	
24.10.2012 11:42	0,671268	-107,22986	0,008529	3,043739	191,960104	-500,953224	-3,466661	3,641236	1,21095	0,14348	6,987616	-3,089249	-0,054496	23,789954	-0,27877	-0,169522	0,130221	12,040002	
24.10.2012 11:43	0,762639	-97,395239	0,008953	3,084172	186,587312	-500,850828	-3,420095	4,687263	1,737794	0,123731	7,893989	-2,905899	-0,04657	20,46339	-0,26222	-0,144866	0,112012	12,040002	
24.10.2012 11:45	0,831487	-83,438598	0,009766	3,071688	173,319058	-500,873419	-3,457596	4,592474	1,472133	0,164656	8,564334	-2,789983	-0,038303	17,491523	-0,25176	-0,119151	0,095745	12,040002	
24.10.2012 11:46	0,871118	-66,569413	0,008767	3,057972	155,928705	-501,203562	-3,434851	3,777728	1,447945	0,126108	8,936722	-2,733036	-0,029916	15,04875	-0,24662	-0,09306	0,082374	12,040002	
24.10.2012 11:50	0,913349	-50,224175	0,008286	3,010513	137,993137	-501,031482	-3,273961	2,537035	1,007897	0,138719	9,343394	-2,671979	-0,022074	12,716017	-0,24111	-0,068665	0,069605	12,040002	
24.10.2012 12:00	0.945615	-30,831686	0.008653	3.05235	110.353178	-500.887954	-3.213938	4.085415	1.372652	0.132397	9.652689	-2.628069	-0.013332	9,788736	-0.23715	-0.041471	0.053581	12.040002	
24.10.2012 12:04	0.983551	-14,867787	0.006087	2.805874	88,983233	-303,489169	-3.200885	0.485387	0.771439	0.098516	10.03033	-2.59151	-0.006307	7,542395	-0.23385	-0.019618	0.041285	12.040002	
24.10.2012 12:04	0.988414	-14.904552	0.008755	3.070169	89.346686	-503.929818	-3.223085	0.871153	1 171101	0.119093	10.07992	-2 587389	-0.006307	7.535141	-0.23348	-0.019619	0.041246	12.040002	
24 10 2012 12:07	1.005826	-0.06392	0.008727	3.031747	77.078227	-505 261385	-3 195429	1.194599	1,89879	0.129668	10,25466	-2 572029	-0.000027	6.354018	-0.2321	-0.000083	0.03478	12.040002	
24 10 2012 12:16	1.03325	7 831919	0.008791	3.05157	77 6591 59	-104 821116	-3 196982	1 1193	2 461 322	0 223214	10 53502	-2 131381	0.003242	6 233424	-0 22879	0.010084	0.03412	12 040002	
34 10 2012 12:10	1.095145	22 205007	0.010146	2 200 200	07 00730	-104 004634	-2 252007	2 600725	4 \$16614	0.24972	11.07001	-2 469247	0.000020	6 745 770	-0 33372	0.039117	0.026022	12.040002	
24.10.2012 12.10	1,000145	22,353087	0,010148	3,200330	107 500500	-304,004631	-3,233337	2,000733	4,010014	0,24572	11,07501	-2,400247	0,005055	2,432/0	-0,22273	0,020117	0,030322	12,040002	
24.10.2012 12.20	1,107000	55,744072	0,012465	3,3330059	200,303505	-502,65977	-5,500251	0,030743	0,930399	0,213278	12,12000	-2,332627	0,010551	7,377023	-0,21251	0,047032	0,041473	12,040002	
24.10.2012 12.24	1,112045	56,442115	0,005363	3,031/12	205,/11652	-167,476799	-3,67/4/3	0,070307	3,406371	0,1495/5	11,46006	-0,000467	0,058275	21,330433	-0,07277	0,119033	0,120404	12,040002	
24.10.2012 12:27	1,115585	94,/98338	0,006429	2,80652	281,700034	-195,840422	-3,9//2/2	11,472306	2,85401	0,151552	11,48406	-0,942052	0,05/581	21,32/614	-0,08501	0,116904	0,116/43	12,040002	
24.10.2012 12:27	1,116192	94,069094	0,00927	3,034729	281,642769	-202,92458	-3,934629	15,1629/3	4,686143	0,194308	11,491/6	-0,975802	0,037478	21,310666	-0,08805	0,116583	0,11665	12,040002	
24.10.2012 12:29	1,10497	100,922891	0,009207	3,016498	302,277252	-105,937528	-3,838244	7,98279	2,660229	0,102282	11,39289	-0,511627	0,040169	23,100368	-0,04617	0,124954	0,126446	12,040002	
24.10.2012 12:30	1,096517	103,094705	0,009626	3,01437	306,002759	-71,147608	-3,844413	8,322348	4,245539	0,131487	11,31226	-0,344831	0,041179	23,556543	-0,03112	0,128097	0,128943	12,040002	
24.10.2012 12:32	1,123365	91,909302	0,007694	3,441153	269,590622	-266,88633	-4,179718	40,919158	5,782576	0,182123	11,5587	-1,279653	0,036318	20,250525	-0,11547	0,112975	0,110847	12,040002	
24.10.2012 12:32	1,123639	91,685567	0,009169	3,013309	267,436317	-258,244799	-4,20889	40,845307	7,501114	0,242292	11,56098	-1,238097	0,036226	20,079969	-0,11172	0,112689	0,109913	12,040002	
24.10.2012 12:35	0,928788	96,926907	0,008764	3,003972	263,152017	-40,502734	-3,105352	54,144844	8,024959	0,511163	9,586782	-0,21324	0,042055	23,922401	-0,01924	0,130823	0,130946	12,040002	
24.10.2012 12:36	0,924385	100,114434	0,008967	3,00103	254,321616	51,853301	5,30988	21,225921	4,320348	0,412097	9,549753	0,273527	0,043523	23,976821	0,024683	0,135387	0,131244	12,040002	
24.10.2012 12:39	0,931645	101,062962	0,007897	2,900429	252,642427	101,624315	6,311582	10,625517	1,616231	0,185784	9,626154	0,533939	0,04376	23,724453	0,048182	0,136126	0,129862	12,040002	
24.10.2012 12:39	0,932599	100,773709	0,008989	3,010676	252,725144	100,00844	6,199829	17,585086	3,595143	0,149755	9,635146	0,525204	0,043615	23,699653	0,047393	0,135673	0,129727	12,040002	
24.10.2012 12:41	1,038305	105,22499	0,008936	3,005009	273,996036	151,565796	6,530258	67,824182	10,751725	0,28254	10,72432	0,754461	0,043167	23,069072	0,068081	0,13428	0,126275	12,040002	
24.10.2012 12:42	1,091282	106,246144	0,009577	3,003211	274,736677	209,692096	6,62202	70,172528	11,026891	0,339667	11,26714	1,018346	0,042523	22,022821	0,091894	0,132276	0,120548	12,040002	
24.10.2012 12:44	1,095822	104,699672	0,009574	3,025528	261,551451	271,860302	6,463044	7,297051	2,210756	0,195963	11,30935	1,317793	0,041825	20,900039	0,118915	0,130108	0,114402	12,040002	
24.10.2012 12:46	1,100548	103,039583	0,009355	2,752281	244,327736	340,752471	5,471851	8,919123	2,176903	0,095583	11,35321	1,648542	0,041083	19,404357	0,148761	0,127797	0,106215	12,040002	
24.10.2012 12:46	1,101191	102,877383	0,009462	3,004462	243,229068	341,638478	5,474609	6,814337	1,823095	0,105908	11,35935	1,652381	0,041007	19,308787	0,149108	0,127561	0,105692	12,040002	
24.10.2012 12:49	1,107714	100,371021	0,009323	3,03294	219,005434	408,626655	5,500494	6,114457	1,58652	0,700249	11,41949	1,971168	0,039902	17,338345	0,177874	0,124126	0,094906	12,040002	
24.10.2012 12:55	1,888051	126,960707	0,010448	3,050336	331,814653	612,515572	5,128798	14,207987	3,140621	0,075172	19,45085	2,263957	0,038674	15,27724	0,204295	0,120303	0,083624	12,040002	
24.10.2012 12:57	1,900426	121,646852	0,010622	3,05065	286,059547	684,270932	4,936869	18,727396	3,83023	0,087378	19,56048	2,522079	0,036951	13,120017	0,227587	0,114944	0,071816	12,040002	
24.10.2012 12:58	1,92344	112,059984	0,01083	3,0546	220,12474	776,333241	4,7962	10,219341	2,387528	0,098865	19,76709	2,846408	0,033861	10,034911	0,256854	0,105331	0,054929	12,040002	
24.10.2012 13:01	1,968896	93,798349	0,010996	2,898922	123,255793	855,028354	4,639001	8,505109	1,564233	0,13418	20,18349	3,102435	0,028049	5,588342	0,279957	0,087252	0,030589	12,040002	
24.10.2012 13:01	1,966101	93,632443	0.010182	3.088097	123.173429	854,106972	4,665558	9,146007	2.330461	0.10369	20.1546	3,101312	0.028019	5,593909	0.279856	0.08716	0.03062	12.040002	
24.10.2012 13:02	1,967675	93,525748	0,010178	3,070377	123,164159	854,615238	4,641934	9,584076	2,328568	0,11697	20,17041	3,101941	0,027976	5,588088	0,279913	0,087026	0,030588	12,040002	
24.10.2012 13:05	2.016785	72,816387	0.008876	2,753851	47.674295	900,444017	4,576475	4.2383	1,453702	0.115639	20.628	3.23183	0.021538	2,233891	0.291634	0.067	0.012228	12.040002	
24.10.2012 13:05	2.016212	72.181777	0.010092	3.07732	47.233758	897,101212	4,568084	4,780652	1,939072	0.157982	20.621	3.220378	0.021354	2,215449	0.2906	0.066428	0.012127	12.040002	
24 10 2012 13:07	2.046685	19 974181	0.011307	3.067628	11 291942	913 320474	4 113 127	4 996979	1 865074	0 102805	20 9115	3 255749	0.017619	0 668261	0 293792	0.054809	0.003658	12 040002	
24.10.2012.13:07	2,042519	10 693116	0.009966	3 062569	10 417672	913 749113	4 \$49\$27	2 075055	1 906995	0 161479	20 97979	3 2599229	0.017547	0 632169	0.29416	0.054595	0.00346	12 040002	
24 10 2012 13:14	2 047306	18 80332	0.010057	3.059629	5 509131	918 127644	4 413747	3 979939	2 513805	0 16349	20,91609	3 273952	0.017273	0.420079	0 295435	0.053733	0.002299	12 040002	
24 10 2012 13:15	2 10939	25 239009	0.014045	7.015494	-94 946229	916 616111	4 493151	17 991 119	2 151699	0 125092	21 50346	3 222349	0.007312	-3 295904	0 290778	0.022745	-0.018041	12 040002	
24.10.2012 12:40	1 101552	-0.014159	0,009291	2 054204	-79 247009	670 967122	5,427579	0 770972	0 997214	0.004649	121/0010	2 175500	-0.0000005	-5 250024	0.206551	-0.000017	-0.020224	12 040002	
24 10 2012 12:40	1 192904	-14 477434	0,000201	2,816025	-121 089343	676 191714	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1 776042	0,007314	0.070545	12 06254	3,175622	-0.0056	-9.47112	0.286562	-0.01742	-0.046269	12 040002	
24.10.2012 13.42	4,102301		0,000763	2,010033	424 334644	676 30365	3,223237	3 76343	0,000000	0.0000000	12,00201	3 (78800	-0.00000	.0 408470	0.300002	-0.01742	-0.046865	13.040002	
24.10.2012 15:42	1,1022/	-14,044038	0,005516	3,0013/4	-121,551614	676,352896	3,194363	3,76261	1,056666	0,000072	12,03624	3,1/0009	-0,003666	10,403428	0,2000002	-0.035640	-0,046302	12,040002	
24.10.2012 13:45	1,034687	-27,949485	0.000.00	3,072913	-1/4,521235	6/5,8932/2	5,45495	4,82682	1,160763	0,400989	10,55869	3,390/32	-0,011000	-14,118/36	0,505975	-0,0555946	-0,077283	12,040002	
24.10.2012 13:46	0,931082	-54,04583	0,008662	5,066374	-201,415664	6/6,519692	5,153573	5,/99828	1,141034	0,089484	3,307364	3,3/3308	-0,015051	-18,206975	0,522647	-0,046821	-0,099661	12,040002	
24.10.2012 13:47	0,79704	-42,078792	0,0061	2,896454	-232,509952	6/0,492394	5,119468	35,132274	7,651718	0,090296	6,148183	5,85754	-0,019804	-24,611489	0,348097	-0,061604	-0,134/18	12,040002	
24.10.2012 13:47	0,797127	-42,101269	0,009794	2,881014	-253,897663	6/6,002273	5,230412	32,886187	7,579097	0,225927	6,149154	3,860221	-0,019837	-24,961008	0,548539	-0,061/06	-0,136631	12,040002	
24.10.2012 13:47	0,798067	-42,135028	0,008648	3,072562	-234,720549	676,658064	5,434056	51,071804	7,276759	0,384349	8,158721	3,8617	-0,019817	-24,784647	0,348472	-0,061646	-0,135666	12,040002	
24.10.2012 13:49	0,712797	-47,120899	0,008674	3,10337	-255,393724	677,183156	5,123938	3,885194	1,152148	0,126936	7,294929	4,087106	-0,023438	-30,256153	U,368812	-0,072909	-0,165616	12,040002	
24.10.2012 13:50	0,634666	-51,916855	0,008686	3,052031	-274,079552	677,504907	5,068098	3,749981	1,276201	0,147877	6,504309	4,330442	-0,027348	-36,475058	0,39077	-0,085071	-0,199656	12,040002	
24 10 2012 13:52	0 509133	-60 299374	0.008627	3.077695	-307 138058	677 144871	5.110304	3,689474	1.641167	0.251623	1 236233	4 826684	-0.035401	-10.93649	0.43111	-0.110123	-0.278815	12 040002	

Tabela 1. Laboratorija Beč - rezultati mjerenja na pumpnoj-turbini nq = 41,6 za otvor lopatica sprovodnog aparata 12 mm kroz sva četiri kvadranta.

Tabela 2. Laboratorija Beč - rezultati mjerenja na pumpnoj-turbini nq = 41,6 za otvor lopatica sprovodnog aparata 22 mm kroz sva četiri kvadranta.

				according IEC 60193						according test						torque T = Tm + Mr				
Constants:	stants: g 9,808475 m/s^2			nED = n*d/E^0.5						wed_v = w*d_2a/E^0.5										
	density rho	1000	kg/m^3			QED =	Q/(d^2*E^0.5)				ged_v =	Q/(d_2a^2	E^0.5)							
	gamma	9,7858	kN/m^3	standard d	ensity water	TED =	T/(rho*d^3*g*H)				ted v=	T/(gamma*	d_2a^3*H)		sign:	- pump				
Cross sections	inlet	0,06193	m^2	(Turbine)							-					+ turbine				
	outlet 0,255476 m^2			(Turbine) H = dp/(rho*g)+(c_2^2-c_1^2)/2*g H							E=g*H	Y								
charackteristic dime	nsion	0,27642	m	d			c_1,2=0/A1,2	velocities												
		0,48752	m	d_28																
systematic Error:	stic Error: Q 0,25 p		P	0,2	т	0,1 Speed 1/60rpm Frict			Friction	0,2		for detailed	error calcul	lations see DIN 1319!!!						
_																				
Time	Head dp (bar)	Discharge Q (I/s)	s_Head dp (bar)	s_Q (I/s)	Troque Tm (Nm)	Speed n (rpm)	Friction Mr (Nm)	s_Tm(Nm)	s_Speed (rpm)	s_Mr (N)	H (m)	wed_v	qed_v	ted_v	nED	QED	TED	Gate (mm)		
24.10.2012 13:35	0,582155	-64,870241	0,010108	3,310127	-335,884805	677,389008	4,89/236	4,803/61	1,022486	0,046916	3,98/8/	4,315883	-0,033614	-48,434423	0,407324	-0,110786	-0,26523	22,057564		
24.10.2012 13:35	0,385162	-64,80431	0,008314	3,060442	-335,136035	677 562004	4,911008	4,67021	1,130041	0,052551	5,998055	4,30/915	-0,0333348	-48,265152	0,406/85	-0,11058	-0,26418	22,037364		
24.10.2012 13.30	0,043000	-84 036806	0,000501	3,030232	-307,710637	677,303001	4,550656	4,04000	1,005050	0,074302	7.403524	4,270333	-0.025505	-40,051102	0,363500	-0,03730	-0.17506	22,037364		
24 10 2012 13:59	0 900697	-44 724552	0.009624	3,050402	-245 947599	677 263166	1 497391	24 406009	2 499515	0,200234	0 100344	3 959155	-0.020997	-25 000500	0 348152	-0.065317	-0.1417	22.057564		
24.10.2012 13:59	0.796698	-44 658936	0.008459	3.072084	-246.089767	677.117891	6.150594	20.91268	3,101308	0.273303	8.147501	3,866984	-0.021019	-25,971861	0.348949	-0.065384	-0.14216	22.057564		
24.10.2012 14:02	0.920383	-32,22385	0.008591	3.061859	-191.388741	675,508762	5.016768	5.042588	1.245122	0.088241	9,396538	3,592257	-0.014122	-17,491984	0.324158	-0.043931	-0.09575	22.057564		
24.10.2012 14:02	0.998848	-19.796488	0.008545	3.063695	-146.464253	676.634737	5.053941	3.918294	1.056598	0.075058	10.188427	3,455581	-0.008332	-12,240531	0.311825	-0.025919	-0.067	22.057564		
24.10.2012 14:04	1.00379	-8,700081	0.008456	3.042985	-116.590011	676.695402	5.018855	2.516187	0.944258	0.107138	10.234856	3,448043	-0.003653	-9.613833	0.311144	-0.011365	-0.05262	22.057564		
24.10.2012 14:05	0.995552	-0.030626	0.008291	3.03973	-97,833704	677,328397	4,992578	4,070357	1,15164	0.128884	10,149916	3,465679	-0.000013	-8.066856	0.312736	-0.00004	-0.04416	22.057564		
24.10.2012 14:09	1,202823	89,529655	0,010269	3,261219	33,1864	759,779732	4,862361	1,17646	0,974909	0,248039	12,36338	3,522406	0,034207	2,714124	0,317855	0,106408	0,014857	22,057564		
24.10.2012 14:09	1,20437	89,361334	0,008856	3,020271	33,076247	760,526665	4,875275	1,518399	1,195663	0,205141	12,378782	3,523675	0,034121	2,703819	0,317969	0,106142	0,0148	22,057564		
24.10.2012 14:11	1,227855	71,615347	0,008891	3,237698	-1,694264	767,683322	4,842115	2,447843	1,338574	0,199548	12,582472	3,527926	0,027123	0,220635	0,318353	0,084372	0,001208	22,057564		
24.10.2012 14:12	1,152831	115,80046	0,009439	2,993707	96,969118	729,038367	4,768827	1,57374	1,649663	0,094478	11,921191	3,442	0,045057	7,526441	0,310599	0,140161	0,041198	22,057564		
24.10.2012 14:15	1,530301	149,512744	0,00943	3,220555	189,023128	814,871262	4,786404	94,001253	30,456361	0,180042	15,881505	3,333216	0,050402	10,762418	0,300783	0,156786	0,058911	22,057564		
24.10.2012 14:15	1,52777	147,84835	0,011655	3,069707	180,050229	823,097092	4,769232	42,141514	12,269763	0,155156	15,849509	3,370261	0,049891	10,28391	0,304125	0,155197	0,056292	22,057564		
24.10.2012 14:17	1,758639	189,18202	0,010991	3,021507	380,321971	770,784124	4,92119	10,108125	2,887672	0,258021	18,377569	2,930954	0,059286	18,487289	0,264483	0,184422	0,101195	22,057564		
24.10.2012 14:19	1,712795	198,645657	0,011509	2,99749	462,433692	661,490535	4,912655	9,872553	2,675833	0,096069	17,956091	2,544709	0,062978	22,953737	0,229629	0,195907	0,125644	22,057564		
24.10.2012 14:23	1,694138	202,856253	0,010302	3,006537	514,27582	556,333699	5,163845	10,397669	2,658087	0,098136	17,787035	2,150324	0,064618	25,754783	0,194041	0,201008	0,140976	22,057564		
24.10.2012 14:26	1,534941	192,0812	0,010712	3,004214	496,774426	411,613069	5,434484	16,318821	3,218689	0,862046	16,110733	1,671675	0,06429	27,491313	0,150849	0,199988	0,150481	22,057564		
24.10.2012 14:28	1,327039	178,243633	0,010647	2,993116	449,225016	276,070928	5,491374	23,257395	4,282776	0,119892	13,927012	1,205902	0,064165	28,794465	0,108818	0,1996	0,157615	22,057564		
24.10.2012 14:29	1,054947	157,832207	0,009052	2,983839	364,79929	156,511496	5,810649	6,868397	2,767549	0,597181	11,067134	0,766918	0,063737	29,533047	0,069205	0,198269	0,161657	22,057564		
24.10.2012 14:30	1,064998	155,456527	0,00957	2,997388	370,812249	50,99611	6,52293	7,374306	2,961201	0,193882	11,160292	0,24884	0,062515	29,817972	0,022455	0,194468	0,163217	22,057564		
24.10.2012 14:31	1,092909	148,161574	0,009571	2,999532	375,624619	-39,08542	-3,064367	6,387237	3,226075	0,239894	11,417139	-0,188563	0,058908	28,778331	-0,017016	0,183245	0,157526	22,057564		
24.10.2012 14:32	1,10764	143,788291	0,009612	2,999517	372,177366	-76,427896	-3,934026	6,597594	4,153594	0,158597	11,551352	-0,366569	0,056836	28,114374	-0,033078	0,1768	0,153892	22,057564		
24.10.2012 14:33	1,118012	140,996079	0,00963	2,986147	368,470456	-112,198316	-4,123907	6,488979	4,782217	0,149984	11,647151	-0,535916	0,055502	27,58807	-0,04836	0,172653	0,151011	22,057564		
24.10.2012 14:36	1,303887	34,945418	0,012517	3,916464	151,019984	-543,09622	-3,249942	7,423127	9,983335	0,130496	13,308752	-2,426769	0,012869	9,792091	-0,218987	0,040031	0,0536	22,057564		
24.10.2012 14:37	1,282721	52,403402	0,010883	3,387083	160,627318	-514,984038	-3,264602	6,91258	7,407366	0,153965	13,112053	-2,31835	0,019442	10,584203	-0,209203	0,060478	0,057936	22,057564		
24.10.2012 14:38	1,267728	62,906703	0,009771	3,145779	167,014247	-497,097087	-3,290613	6,228676	5,655508	0,216675	12,974336	-2,249671	0,023462	11,128909	-0,203006	0,072984	0,060917	22,057564		
24.10.2012 14:41	1,326947	13,630831	0,009103	3,3322	142,673212	-3/0,9/4361	-3,238389	3,881219	4,988326	0,142/39	13,33164	-2,55024	0,003/16	9,0865/1	-0,228324	0,01778	0,049737	22,057564		
24.10.2012 14:42	1,55634	6,/3/35	0,008845	3,0///36	140,153338	-385,375881	-3,22/833	5,101136	2,294463	0,146/16	13,62693	-2,376138	0,002452	8,860447	-0,232467	0,007627	0,0485	22,057564		
24.10.2012 14.44	1,340323	-0,357317	0,009361	3,141/40	110 739069	-334,443130	-3,212/22	6,134033	2,333773	0,1342/0	10,72010	-2,013333	0,000217	0.01/14200	-0,25002	0,000674	0,040032	22,037364		
24.10.2012 14:46	1 03063	0.019976	0.008623	3 034181	111 233287	-324,093173	-3,54562	1 013843	2 121687	0,230337	10,070274	-2,614672	0.0000004	8 866334	-0,233545	0.000026	0.048532	22,037364		
24 10 2012 14:48	1 012276	-12 164182	0.008543	3 051638	111 880132	-123 699111	-3 12011	1 212896	2 073614	0 207845	10 322271	-2 617143	-0.003086	9 218064	-0 239775	-0.015822	0.050677	22 057564		
24.10.2012 14:50	0.988098	-24.32796	0.008655	3.042253	120,127139	-523.918469	-3,459781	3,498665	1,775544	0.190942	10.08133	-2.689832	-0.010293	10.206055	-0.242725	-0.03202	0.055866	22.057564		
24.10.2012 14:50	0.963397	-40 293529	0.008828	3.059719	137,493899	-523.815703	-3.440723	4,758976	1,363537	0.19653	9.842397	-2.721751	-0.017254	12.011648	-0.245605	-0.053674	0.065749	22.057564		
24.10.2012 14:52	0.911312	-68.77357	0.006252	2.880202	173.652029	-523.653015	-3.425395	0.717622	0.751028	0.141324	9.350247	-2.791595	-0.030215	16.055757	-0.251908	-0.093991	0.087886	22.057564		
24.10.2012 14:52	0.910745	-68.631871	0.011928	3,330185	173,400482	-524,42233	-3,425175	2.137072	0.842502	0,103059	9,344219	-2.796598	-0.030163	16.042394	-0.252359	-0.093828	0.087813	22.057564		
24.10.2012 14:52	0,910381	-68,742309	0,008603	2,990752	172,883464	-524,175165	-3,389266	0,70846	0,730483	0,178996	9,342734	-2,795502	-0,030214	15,999529	-0,25226	-0,093986	0,087578	22,057564		
24.10.2012 14:52	0,911016	-68,800838	0,01082	2,824078	174,220226	-524,213379	-3,400295	0,814517	0,70872	0,117981	9,347271	-2,795027	-0,030232	16,116846	-0,252218	-0,094043	0,08822	22,057564		
24.10.2012 14:53	0,911824	-68,499138	0,008615	3,065473	173,677406	-523,810308	-3,392678	2,585802	0,975246	0,180524	9,354994	-2,791725	-0.030087	16,053087	-0,25192	-0.093592	0,087871	22,057564		
24.10.2012 14:53	0,91107	-93,992542	0,009189	3,096898	197,206496	-523,626251	-3,385273	3,580148	1,40289	0,154717	9,399136	-2,784183	-0,041187	18,186107	-0,251239	-0,128123	0,099547	22,057564		
24.10.2012 14:54	0,824631	-120,419639	0,008631	3,096507	218,999389	-523,96786	-3,447451	3,769128	1,251181	0,29311	8,588755	-2,914472	-0,055201	22,133398	-0,262996	0,171715	0,121153	22,057564		
24.10.2012 14:56	0,722552	-137,321637	0,008512	3,102178	223,20787	-523,790971	-3,415267	3,497487	1,394132	0,150598	7,602539	-3,096699	-0,066907	25,496512	-0,27944	-0,20813	0,139562	22,057564		
24.10.2012 14:56	0,672213	-145,789684	0,00835	3,126493	224,585049	-524,12599	-3,403029	5,273533	1,398208	0,154631	7,119311	-3,202116	-0,073404	27,39922	-0,288952	-0,228341	0,149977	22,057564		



Slika 1. Laboratorija Beč – prikaz kompletne instalacije pumpne-turbine na računaru.



Slika 2. Laboratorija Beč – prikaz mjernih tačaka na četvorokvadrantnom dijagramu Q_{11} - n_{11} pumpne-turbine za otvor lopatica sprovodnog aparata 12 mm na računaru.



Slika 3. Laboratorija Beč – prikaz mjernih tačaka na četvorokvadrantnom dijagramu M_{11} - n_{11} pumpne-turbine za otvor lopatica sprovodnog aparata 12 mm na računaru.



Slika 4. Laboratorija Beč – prikaz kontrolne sobe sa opremom za monitoring, prikupljanje i obradu rezultata mjerenja.



Slika 5. Laboratorija Beč – prikaz kontrolne sobe sa opremom za monitoring, prikupljanje i obradu rezultata mjerenja.



Slika 6. Laboratorija Beč – Prof. Dr.Ing.Christian Bauer (TU Beč), Zdravko Giljen, Dr. Bernhard List (VOITH) – (sa desna na lijevo).

<u>U laboratoriji State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering</u> <u>Science – Wuhan University, P.R.China</u> – autor ove doktorske disertacije boravio je u zvaničnoj posjeti od 29.02.2016 do 29.03.2016 na poziv Prof. Dr. Yongguang Cheng Director, Research Section of Safety of Hydropower System The State Key Laboratory of Water Resources & Hydropower Engineering Science. U laboratoriji na ispitnom pultu, pumpne-turbine se pokretane kroz sve četvoro-kvadrantne operacije, urađena su ispitivanja četvoro-kvadrantnih karakteristika za dva modela pumpnih-turbine u stacionarnom i nestacionarnom stanju. Mjerenja su obavljena u cijelom području četvoro-kvadrantnog dijagrama: pumpni režim, kočenje, turbinski režim do linije pobjega i nastavak u režimu kočenja, reverzibilni pumpni režim, start u pumpnom režimu. Nakon prethodno navedenog autor ove doktorske disertacije uradio je analizu dobijenih podataka, koji su napravljeni bezdimenzionalnim, dobijenih Suterovih krivih, a zatim je napravio numeričke eksperimente prelaznih pojava (1D) u sistemu sa takvim mašinama.

Tokom izvođenja mjerenja na instalaciji ove dvije pumpne-turbine, autor ove doktorske disertacije upoznao je koliko je složen proces u fizičkom smislu na pumpnoj-turbini tokom rada pumpne-turbine u sva četiri radna režima, kolike su nestabilnosti i haotičnosti tokom prelaza iz pumpnog režima u trurbinski režim (zona energetske disipacije - protok, moment i broj obrtaja mijenjaju znak i smjer), i koliko je teško izmjeriti moment, protok i broj obrtaja u ovom radnom režimu. Eksperimentalna platforma u laboratoriji - State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, P. R. China sastoji se od devet djelova i opreme koje je ugrađena u njima i navedena u sledećem dijelu teksta i prikazana na Sl.7: (1) recycled water - recikliranje vode, (2) excitation protection – zaštita pobude, (3) Str. 55 od 600 speed control - kontrola brzine, (4) frequency disguise – prerušavanje frekvencije, (5) monitoring - monitoring, (6) load - opterećenje, (7) measurement - mjerenje, (8) model unit - model agregata, (9) diversion system - diverzioni sistem. (1) Recycled water (recikliranje vode) equipment (oprema): cisterns (cisterne), tanks (rezervoari), backwater channels (kanali povratne vode), pumps (pumpe), water pipes (cijevi za vodu), valves (ventili), electromagnetic flow meter (elektromagnetni mjerači protoka), transformers (pretvarači), distribution equipment (oprema za distribuciju) and other auxiliary equipment (druga pomoćna oprema), etc. (2) Excitation protection (zaštita pobude) – equipment (oprema): generator-motor excitation device (generator - motora uređaj pobude), automatic registering devices - uređaji za automatsko registrovanje, generator protection devices - uređaji za zaštitu generatora. (3) Speed control (kontrola brzine) equipment (oprema): speed controller (regulator brzine), tester (uređaj za ispitivanje), digital cylinder actuators (digitalni cilindar aktuator), valve controllers (ventil kontroler), etc. (4) Frequency disguise (prerušavanje frekvencije) - equipment (oprema): drive and commutation means (sredstva za pogon i komutaciju). (5) Monitoring (monitoring) – equipment (oprema): local control unit (lokalna kontrolna jedinica), the host computer system (domaćin kompjuterski sistem), monitoring system software (softver monitoring sistem), industrial TV monitoring (industrijski TV monitoring). (6) Load (opterećenje) – equipment (oprema): 4×20 kW frontloaded cabinet and cabinet (naprijed-napunjen orman i orman). (7) Measurement (mjerenja) equipment (oprema): data logger (loger podataka), vibration tester data (ispitivač podataka vibracija), various sensors (razni senzori). (8) Model unit (model agregata) - equipment (oprema): 4 different models working head pump turbine - generator-motor (4 različita modela radnog pada pumpne turbine - generatora - motora). (9) Diversion system (diverzioni sistem) equipment (oprema): upper / lower reservoir (gornji i donji rezervoar), inlet / outlet pressure pipeline (ulazne i izlazne cijevi pod pritiskom), surge chamber (vodostan) and other components (ostale komponente).



Slika 7. Šema eksperimentalne platforme State Key Laboratory – Wuhan, Kina.

Tokom boravka u laboratoriji auto ove doktorske disertacije radio je na razvoju ove doktorske disertacije, analizirao je dobijene rezultate izmjerene tokom prelaznih procesa na dva modela pumpnih-turbina instalisanih u ovoj laboratoriji, kao i na postupku transformisanja podataka sa četvoro-kvadrantnih krivih karakteristika pumpne-turbine u Suterove krive. Tokom ovog perioda upoznat je sa kompletnom instalacijom ispitnog pulta dvije pumpne-turbine instalisane u State Key Laboratory - Wuhan (uzvodni rezervoar, dovodni cjevovod, uzvodna račva, instalacijama dva modela pumpnih-turbina, nizvodna račva, vodostan, nizvodni cjevovod, nizvodni rezervoar). Zatim je upoznat sa kompletnom opremom u kontrolnoj sobi u kojoj se skupljaju svi podaci izmjereni na instalacijama ova dva modela pumpnih-turbina, u kontrolnoj sobi prati se na monitorima kompletan process mjerenja, a u prostoriji do nalaze se uređaji koji vrši obradu i pretvaranje iz analogno u digitalni oblik svih mjernih signala sa kompletne instalacije i svih mjernih pozicija, na monitorima se prati mjerenje radnih tačaka na četvorokvadrantnim krivima karakeristika kako u stacionarnom tako i u nestacionarnom stanju. Autor ove doktorske disertacije analizirao je rezultate izmjerene tokom stacionarnog i nestacionarnog radnog stanja na ova dva modela pumpnih-turbina, pri različitim radnim režimima. Obučen je da koristi Ansys Fluent, 3D CFD program za simuliranje prelaznih procesa i izračunavanje četvorokvadrantnih karakteristika. Analizirao je naučne radove u kojima su opisana istraživanja obavljena u State Key Laboratory Wuhan, i postao familijaran sa problematikom dinamičkih karakteristika u S - regionu tokom tranzijentnog stanja - pobjeg. Takođe tokom ove posjete auto ove doktorske diseratcije upoznat je sa kompletnom instalacijom ispitnog pulta tri modela francisovih turbine instalisanih u State Key Laboratory – Wuhan, upoznat je sa kompletnom mjernom opremom i procedurama mjerenja na modelima Francis turbina i ostalim komponentama instalacije (uzvodni rezervoar, tri dovodna cjevovoda, uzvodna račva, instalacijama tri modela Francis turbina, nizvodna račva, vodostan, nizvodni cjevovod, nizvodni rezervoar). Upoznat je sa kompletnom opremom u kontrolnoj sobi gdje se vrši sakupljanje i obrada svih mjernih signala sa instalacije tri modela Francis turbina i ostalih komponenti instalacije. Ph.D. Jinping Li je upoznao autora ove doktorske disertacije sa postupkom mjerenja, testiranja i analizama koje rade na navedenoj instalaciji u dijelu kontrole stabilnosti i pouzdanosti instalacije za razna radna stanja koja se mogu pojaviti tokom rada modela Francis turbine i kako se ta stanja reflektuju u odnosu na mrežu, a koja je teško ispitivati i analizirati na prototipu ove intalacije tj. izgrađenoj hidroelektrani. State Key Laboratory je autoru ove doktorske disertacije obezbijedila jedanest setova četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} za jedanest modela pumpnih-turbina koje može autor ove doktorske disertacije da preračuna u Suterove krive i da korist ove preračunate podatke za završetak ove doktorske disertacije. Takođe je autoru ove doktorske disertacije omogućeno da koristi rezultate mjerenja dobijene na modelima pumpnihturbina tokom prelaznog procesa pobjeg, kao i podatke koji su dobijeni za ovo nestacionarno stanje simulacijom na 3D i 1D modelima. Takođe za izradu ove doktorske disertacije je omogućeno da autor koristi tehničke podatke i parametre svih komponenti instalisanih u instalaciji dva modela pumpnih-turbina u State Key Laboratory, koja će biti predstavljeni u narednom dijelu teksta.

Posjeta State Key Laboratory, za autora ove doktorske disertacije ima neprocjenjiv značaj i vrijednost, ovo je bila jedinstvena prilika koja je pružena autoru da izvrši analizu rezultata izmjerenih tokom stacionarnog stanja i prelaznih procesa na dva modela pumpnihturbina instalisanih u ovoj laboratoriji, kao i postupak transformisanja podataka sa Četvorokvadrantnih krivih karakteristika pumpnih-turbina u Suterove krive. Autor ove doktorske diesrtacije posebno ističe analizu koju je uradio na problematici dinamičkih karakteristika u *S* regionu tokom tranzijentnog stanja - pobjeg pumpne-turbine. Ovom prilikom autor ističe posebnu zahvalnost domaćinu Prof. Dr. Yongguang Cheng Director, Research Section of Safety of Hydropower System The State Key Laboratory of Water Resources & Hydropower Engineering Science, bez čije pomoći nebi bilo moguće da autor izvede posjetu State Key Laboratory. Na osnovu svega što je auto ove doktorske disertacije prošao tokom posjete State Key Laboratory dolazi do zaključka da nijedan inženjer nije kompletan dok neprođe nešto ovako, a ova se prilika se autoru ukazala u martu mjesecu 2016 godine.



Slika 8. State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Speed control



Frequency disguise



Data collection

Model unit

Diversion system

Slika 9. Komponente instalacije State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 10. Dvije pumpne-turbine instalisane u State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 11. Radna kola pumpnih-turbina instalisanih u State Key Laboratory – Wuhan, China.



Slika 12. Komponente donja račva - vodostan - odvodni cjevovod - nizvodni rezervoar - instalacije State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 13. Model dovodnog sistema - instalacije State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 14. Sifon pumpne-turbine instalacije State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 15. Servomotor pumpne-turbine instalacije State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 16. Prof. Dr. Yongguang Cheng – Zdravko Giljen - Ph.D Linsheng Xia (slijeva na desno) – State Key Laboratory – Wuhan, Kina.



Slika 17. Prof. Dr. Yongguang Cheng – Zdravko Giljen - Mr.Chief of Laboratory (sdesna na lijevo) – State Key Laboratory – Wuhan, Kina.

3.2 Analitička istraživanja

Teorijske (matematičke) metode

Koristiće se parcijalne diferencijalne jednačine za hidraulički udar (postupci koje su razvili Chaudhry, M. H. (1979) [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4]; Dr Dušan Obradović; Bergant i Simpson (1997)). Matematički model koji su razvili navedeni autori, je razvijen da analizira stanja prelaznih procesa pri raznim radnim uslovima u hidroelektrani. Nestacionarno strujanje kroz zatvorene cjevovode je opisano sa dinamičkom jednačinom (1) i jednačinom kontinuiteta (2). Opisano je izvođenje ovih jednačina, i dostupne metode za njihovo rješavanje i diskutovanje. Sledeće pretpostavke su uvedene pri izvođenju jednačina: 1 - protok u cjevovodima je jednodimenzionalan, i raspodjela brzine je homogena po cijeloj površini poprečnog presjeka cjevovoda; 2 - zid cjevovoda i fluid su linearno elastični, napon je proporcionalan naprezanju, ovo je istina za većinu provodnika, kao što su cjevovodi od metala, betona i drveta, i obloženi ili neobloženi kameni tuneli; 3 - formule za izračunavanje gubitaka uslijed stacionarnog trenja u cjevovodima su validne tokom stanja prelaznih procesa, validacija ovih pretpostavki još nije potvrđena; 4 - tokom trajanja prelaznog režima cjevovod je skroz ispunjen fluidom i ostaje takav dok traje prelazni režim; 5 - tokom trajanja prelaznog procesa nema pojave kavitacije odnosno pritisak uvijek ima veću vrijednost od pritiska pri kojem dolazi do isparavanja fluida na datoj temperaturi; 6 - ne dolazi do pomjeranja cjevovoda tokom prelaznog procesa; 7 - brzina prostiranja talasa može se smatrati konstantnom u vremenu i prostoru zbog toga što je sadržaj slobodnog gasa u fluidu mali. Za izračunavanje frekventno zavisnog trenja Zielke je razvio proceduru za laminarno tečenje, a Herose je predložio empirijsku proceduru za turbulentno tečenje, međutim ove procedure su suviše kompleksne i glomazne za opštu upotrebu.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} - V \sin \theta + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \qquad (1)$$

$$g\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x} + f\frac{V|V|}{2D_{ci}} = 0.$$
 (2)

U jednačima (1) i (2) su: V – srednja brzina strujanja fluida, x – prostorna kordinata, t - vrijeme, $H = p/\rho g + z$ – pijezometarski pritisak, θ - nagib cjevovoda u odnosu na horizontalnu ravan, g – gravitaciono ubrzanje, f - Darcy-Weisbach-ov koeficijent trenja, a - brzina prostiranja poremećajnog talasa i D_{cj} - prečnik cjevovoda.

Kako je brzina strujanja fluida mnogo manja od brzine prostiranja poremećajnog talasa $V \ll a$, za veliki broj inženjerskih problema može se zanemariti uticaj konvektivnih članova $V(\partial H / \partial x), V(\partial V / \partial x)$ kao i člana $V \sin \theta$ jer vrijednost ovih članova je mala u odnosu na druge članove u jednačinama (1) i (2) (Bergant Simpson 1997). Jednačine kontinuiteta i promjene količine kretanja dobijaju se u uprošćenom obliku ako se u jednačinama (1) i (2) brzina strujanja fluida V zamijeni zapreminskim protokom Q = VA u kome figuriraju i brzina strujanja fluida i površina poprečnog presjeka cjevovoda, i uzimajući u obzir prethodno navedene pretpostavke dobija se,

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \qquad (3)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + f \frac{Q|Q|}{2gD_{ij}A^2} = 0.$$
(4)

U jednačinama (3) i (4) je $A = D_{cj}^2 \cdot \pi/4$ – površina poprečnog presjeka cjevovoda. Jednačine (3) i (4) čine sistem kvazilinearnih parcijalnih diferencijalnih jednačina hiperboličkog tipa. Zavisno promjenjive u jednačinama (3) i (4) su protok Q i pijezometarski pritisak H dok su nezavisno promjenjive u ovim jednačinama vrijeme t i prostorna koordinata jednodimenzionog strujnog polja x. Specijalni granični uslovi, su razvijeni za sinhroni rad turbine i ventila za regulisanje pritiska, poslednji odjeljak cjevovoda pored turbine se određuje kao (i, n+1), zatim jednačina kontinuiteta može biti napisana kao $Q_{Pi,n+1} = Q_{Ptur} + Q_{Pv}$, u kojoj je Q_{Ptur} i Q_{Pv} su protok na turbini i ventilu za regulisanje pritiska na kraju vremenskog koraka, jednačina pozitivne karakteristike za sekciju (i, n+1) je $Q_{Pi,n+1} = C_p - C_a H_{Pi,n+1}$, ova jednačina može biti

napisana u smislu neto pada H_n , kao $Q_{Pi,n+1} = C_p - C_a \left(H_n - \frac{Q_{Pi,n+1}^2}{2gA_i^2} \right)$. Ako se karakteristike

turbine koriste u analizi tada je protok kroz turbinu $Q_{Ptur} = a_3 + a_2 \sqrt{H_n}$ u kojoj su a_2 i a_3 konstante, a protok kroz ventil za regulisanje pritiska je $Q_{Pv} = Q_r \sqrt{H_n/H_r}$, iz navedenih jednačina slijedi $Q_{Pi,n+1} = a_3 + a_4 \sqrt{H_n}$, u kojoj je $a_4 = a_2 + Q_r / \sqrt{H_n}$.

3.3 Numeričke metode

Numeričke metode rješavanja parcijalnih diferencijalnih jednačina koje opisuju hidraulički udar.

Metoda karakteristika se koristi za analizu prelaznih procesa (postupci koje su razvili Chaudhry, M. H. (1979) **[3]**; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) **[4]**; Dr Dušan Obradović), kao što je prestavljeno u prethodnom dijelu teksta jednačine koje opisuju nestacionarno tečenje u zatvorenim cijevima su hiperbolične parcijalne diferencijalne jednačine, zatvoreni oblik rješavanja ovih jednačina je moguć, međutim zanemarujući ili linearizujući nelinearne članove različite grafičke i analitičke metode su razvijene za rješavanje ovih jednačina, ove metode su približne i ne mogu se koristiti za analizu velikih sistema ili sistema koji imaju složene granične uslove. Neke od ovih metoda su programirane za analize na kompjuteru, ali nijesu predstavljene u knjigama jer su njihovi programi složeni. U knjigama od navedenih autora su diskutovane tehnike koje više odgovaraju kompjuterskoj analizi, kao što su implicitna metoda konačnih razlika i metoda karakteristika.

Kod implicitne metode konačnih razlika, parcijalni izvodi su zamijenjeni sa konačnim razlikama, i nakon toga se dobijaju algebarske jednačine za cio sistem i zatim se rješavaju istovremeno. Zavisno od veličine sistema, ovo podrazumjeva istovremeno rješavanje velikog broja nelinearnih jednačina. Analiza sa ovom metodom postaje još više komplikovana u sistemima koji imaju kompleksne granične uslove, koji se moraju rješavati sa iterativnom tehnikom. Ovaj metod ima prednost da je bezuslovno stabilan. Međutim veći vremenski koraci mogu se koristiti, što rezultira u ekonomičnosti vremena izračunavanja. Međutim vremenski korak ne može biti povećan proizvoljno jer to dovodi do izgrađivanja pikova pritiska.

Kod metode karakteristika, hiperbolične parcijalne diferencijalne jednačine se prvo pretvore u obične diferencijalne jednačine, koje se zatim rješavaju eksplicitno tehnikom konačnih razlika. Zato što se svaki granični uslov i svaka sekcija cjevovoda analiziraju posebno tokom vremenskog koraka, ova metoda je posebno pogodna za sisteme sa složenim graničnim uslovima. Nedostatak ove metode je da mali vremenski koraci moraju biti korišćeni da se zadovolji Corant-ov uslov za stabilnost. Da se prevaziđe ovo, može se koristiti kombinacija implicitne metode konačnih razlika i metode karakteristika. Kod ove metode razvijene su jednačine za simulaciju cjevovoda, i graničnih uslova za jedan broj jednostavnih stanja. Kriterijumi stabilnosti i konvergencije za stabilnost šeme konačnih razlika su predstavljeni kod ove metode, i opisana je procedura za analizu sistema cijevi. Kod ove metode nastoji se da se zadrži izvođenje jednačina bez napredne matematike, dovoljno je imati elementarno znanje o parcijalnim diferencijalnim jednačinama da bi bili u stanju pratiti razvoj ovih jednačina. Kod izvođenja ovih jednačina, prati se opšti pristup predložen od strane Lister, a kasnije usvojen od Streeter i Wylie.

- Jednačine karakteristika

Za rješavanje sistema jednačina (3) i (4) koristi se neka od numeričkih metoda, pošto se rješenje ovog sistema jednačina ne može dobiti analitički. Numerička metoda koja se najviše primjenjuje zove se metoda karakteristika. Metoda karakteristika se najviše koristi zbog njene jednostavnosti i efikasnosti. Pomoću metode karakteristika jednačine (3) i (4) prevode se u obične diferencijalne jednačine, pri čemu se istovremeno određuje familija krivih koje se nalaze u prostorno-vremenskoj ravni Slika 18, i duž kojih važi izvedena transformacija. Za navedene krive se koristi naziv karakteristične linije ili karakteristike. Pravac prostiranja poremećajnog talasa kroz fizički sistem u vremenu i prostoru definiše se karakterističnim linijama (Goldberg i Wylie 1983).

Polazi se od dinamičke jednačine (4) - $L_1 = \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f}{2DA}Q|Q| = 0$ i jednačine količine kretanja (3) - $L_2 = a^2 \frac{\partial Q}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial t} = 0$.

Razmatra se linearna kombinacija dvije prethodne jednačine $L = L_1 + \lambda L_2$ i dobija se jednačina

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda a^2 \frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \lambda g A \left(\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{f}{2DA} Q |Q| = 0$$
(5)

ako je H = H(x,t) i Q = Q(x,t).

Tada totalni izvod može se pisati kao $\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x}\frac{dx}{dt}$ i $\frac{dH}{dt} = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x}\frac{dx}{dt}$. Definisanjem nepoznatog multiplikatora λ kao $\frac{1}{\lambda} = \frac{dx}{dt} = \lambda a^2$ ili $\lambda = \pm \frac{1}{a}$.

Kada se primijeni metoda karakteristika jednačine (3) i (4) dobijaju se u sledećem obliku:

duž C+ karakteristične linije

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{gA}{a}\frac{dH}{dt} + \frac{f}{2DA}Q|Q| = 0 \text{ ako je } \frac{dx}{dt} = a$$
(6)

duž C- karakteristične linije

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{gA}{a}\frac{dH}{dt} + \frac{f}{2DA}Q|Q| = 0 \text{ ako je } \frac{dx}{dt} = -a.$$
(7)

Jednačine (3) i (4) važe u čitavoj prostorno vremenskoj ravni, dok jednačine (6) i (7) važe samo duž karakterističnih linija i zovu se kompatibilne jednačine (Wylie i Streeter 1993) [4]. Iz jednačina (6) i (7) dobijaju se dvije algebarske jednačine pomoću metode konačnih razlika, koje su pogodne za numeričko rješavanje i mogu se zapisati u sledećem obliku u skladu sa notacijom sa Sllika18, (Bergant i Simpson 1997):



Slika 18. Karakteristične linije u prostorno vremenskoj ravni.

duž C⁺ karakteristične linije ($\Delta x / \Delta t = a$)

$$H_{P} - H_{A} + \frac{a}{gA} ((Q_{u})_{P} - (Q_{d})_{A}) + \frac{f\Delta x}{2gDA^{2}} (Q_{u})_{P} | (Q_{d})_{A} | = 0,$$
(8)

duž C⁻ karakteristične linije ($\Delta x / \Delta t = -a$)

$$H_{P} - H_{C} - \frac{a}{gA} ((Q_{d})_{P} - (Q_{u})_{C}) - \frac{f\Delta x}{2gDA^{2}} (Q_{d})_{P} | (Q_{u})_{C} | = 0.$$
(9)

Str. 66 od 600

Sistem jednačine (8) i (9) se dopunjuje početnim i graničnim uslovima u namjeri da se potpuno postavi problem. U početnom vremenskom trenutku početni uslovi definišu strujne parametre fluida, prije djelovanja poremećaja. Na granicama sistema tokom vremena granični uslovi definišu promjenu parametara fluida, i granični uslovi u graničnim tačkama mijenjaju jednu od karakterističnih jednačina. Jednačine graničnih uslova moraju sadržati vezu između zavisno promjenjivih protoka i pritiska ili zakon promjene jedne od njih tokom vremena. Moguće je napisati jednačinu pozitivne karakteristike (8) i jednačinu negativne karakteristike (9) u uprošćenom obliku:

$$H_P = C_P - B_P (Q_u)_P, \tag{10}$$

$$H_P = C_M + B_M (Q_d)_P, \tag{11}$$

u jednačinama (10) i (11) figuriraju sledeći članovi:

$$C_P = H_A + B(Q_d)_A, \tag{12}$$

$$B_P = B + R_{cj} | (Q_d)_A |, \qquad (13)$$

$$C_M = H_C - B(Q_u)_C, \tag{14}$$

$$B_M = B + R_{cj} | (Q_u)_C |, \qquad (15)$$

u jednačinama (12), (13), (14) i (15) su $R_{cj}=f\Delta x/2gDA^2$ – koeficijent otpora cjevovoda i B=a/gA – impedansa cjevovoda koja je funkcija fizičkih osobina fluida i cjevovoda. Duž pozitivne karakteristične linije važi jednačina (10), dok duž negativne karakteristične linije važi jednačina (11). U tački *P* dolazi do presjeka ove dvije linije. Jednačinu (10) i jednačinu (11) zadovoljavaju kordinate tačke *P* a nalaženje nepoznatih vrijednosti protoka i pritiska u tački *P* moguće je njihovim simultanim rješavanjem. Na osnovu početnih uslova moguće je znati prethodne vrijednosti protoka i pritiska, a takođe se mogu izračunati u prethodnom računskom koraku. Na osnovu prethodno rečenog izrazi za protok i pritisak se dobijaju u sledećem obliku:

$$(Q_u)_P = (Q_d)_P = \frac{C_P - C_M}{B_P + B_M},$$
 (16)

$$H_{P} = \frac{C_{P}B_{M} + C_{M}B_{P}}{B_{P} + B_{M}}.$$
(17)

Na osnovu Courant-ovog kriterijuma stabilnosti rješenja određuje se vremenski korak integracije (Chaudhry 1987):

$$\Delta x \ge a \Delta t. \tag{18}$$

Odnos stvarne brzine prostiranja poremećajnog talasa a i numeričke brzine prostiranja talasa $\Delta x/\Delta t$ predstavlja Courant-ov broj:

$$C_N = \frac{a}{\Delta x / \Delta t} = \frac{a \Delta t}{\Delta x} \,. \tag{19}$$

Kada je $C_N = I$ onda je prethodno opisana numerička šema bezuslovno stabilna (Wylie i Streeter 1993).

4. Pripremni dio analize podataka (dio istraživanja već obavljen)

4.1 Postupak (metoda) dobijanja Suterovih krivih iz poznatih (izmjerenih) Četvorokvadrantnih dijagrama

Korišćenje teorijskih postavki, preslikavanje Četvorokvadrantnih dijagrama u Suterove krive, opisivanje matematičkog postupka koji se koristi za preslikavanje Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive. Poznato je da se Četvorokvadrantne krive dobijaju mjerenjima u laboratoriji i da nijesu glatke. Da za te same krive možemo da provlačimo analitičke vrijednosti i tražimo zavisnosti kada se ima takva kriva.

Sa četvorokvadrantnih dijagrama za modele pumpi na kojima su prikazane kordinate sa vrijednostima $H/H^* - Q/Q^*$ i $M/M^* - Q/Q^*$ unutar koji se nalaze krive sa raznim pozitivnim i negativnim procentualnim vrijednostima n/n^* . Preračunavanje ove vrste krivih u Suterove krive vrši se na sledeći način, prvo se očitavaju vrijednosti za H/H^* , Q/Q^* i M/M^* za niz tačaka duž krivih krive sa raznim pozitivnim i negativnim procentualnim vrijednostima n/n^* , i nakon ovoga postupka a na osnovu prethodno navedenih očitanih vrijednosti dobijaju se vrijednosti za $h = H/H^*$ - relativni pad, $\beta = M/M^*$ - relativni moment, $\alpha = n/n^*$ - relativni broj obrtaja, $v = Q/Q^*$ - relativni protok. Kompletan prethodni postupak koji je naveden odnosi se na preračunavanje Četvorokvadrantnih krivih sa kordinatama H/H^* , Q/Q^* , M/M^* u Suterove krive, na Suterovim dijagramima su prikazane krive karakteristike pada - $W_{h(\theta)} = \frac{h}{\alpha^2 + v^2}$ i karakteristike momenta - $W_{m(\theta)} = \frac{\beta}{\alpha^2 + v^2}$ izražene u funkciji od ugala θ koji je definisan sa $\theta = arctg \frac{\alpha}{v}$. Na sledećim Slikama 19 i 20, prikazani su dijagrami je slikovitim prikazom putanje prethodno navedenog postupka:



Slika 19. Slikovit prikaz putanje prelaska sa vrijednosti H/H^* - Q/Q^* na vrijednosti $Wh - \theta$.



Slika 20. Slikovit prikaz putanje prelaska sa vrijednosti M/M^* - Q/Q^* na vrijednosti $Wm - \theta$.

Sa četvorokvadrantnih dijagrama za modele pumpi i pumpnih-turbina na kojima su prikazane kordinate sa vrijednostima karakteristika N_{11} , Q_{11} , M_{11} , vrši se očitavanje vrijednosti navedenih karakteristika, $N_{11} = \frac{ND_1}{\sqrt{H}}$ - jedinični broj obrtaja, $Q_{11} = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}}$ - jedinični protok, M

 $M_{11} = \frac{M}{D_1^3 \sqrt{H}}$ - jedinični moment, pri čemu se za model pumpnih-turbina vrši očitavanje

vrijednosti karakteristika sa Četvorokvadrantnih krivih za razne otvore lopatica sprovodnog aparata. Zatim se izračunava stepen korisnosti za sve Četvorokvadrantne krive za razne otvore lopatica sprovodnog aparata za model pumpne-turbine, i dolazi do optimalne tačke sa najvećim stepenom korisnosti za pumpni režim za model pumpne-turbine, podatke za H_R , Q_R i M_R iz optimalne tačke modela pumpne-turbine koriste se u daljem postupku preračunavanja podataka. Zatim se izračunavaju vrijednosti za H, Q i M za svaku tačku na Četvorokvadrantnim krivim za svaki od otvora lopatica sprovodnog aparata modela pumpne-turbine, nakon ovog postupka računaju se vrijednosti za $h = \frac{H}{H_P}$ - relativni pad, $\beta = \frac{M}{M_P}$ - relativni moment, $\alpha = \frac{n}{n_P}$

relativni broj obrtaja, $v = \frac{Q}{Q_R}$ - relativni protok. Kompletan prethodni postupak koji je naveden odnosi se na preračunavanje Četvorokvadrantnih krivih sa kordinatama N_{11} , Q_{11} , M_{11} u Suterove krive, na Suterovim dijagramima su prikazane krive karakteristike pada - $W_{h(\theta)} = \frac{h}{\alpha^2 + v^2}$ i karakteristike momenta - $W_{m(\theta)} = \frac{\beta}{\alpha^2 + v^2}$ izražene u funkciji od ugala θ koji je definisan sa $\theta = arctg \frac{\alpha}{v}$. Na sledećim Slikama 21 i 22, prikazani su dijagrami je slikovitim prikazom putanje prethodno navedenog postupka:



Slika 21. Slikovit prikaz putanje prelaska sa vrijednosti $n_{11} - Q_{11}$ na vrijednosti $H/H^* - Q/Q^*$, a zatim na vrijednosti $Wh - \theta$.



Slika 22. Slikovit prikaz putanje prelaska sa vrijednosti $n_{11} - M_{11}$ na vrijednosti $M/M^* - Q/Q^*$, a zatim na vrijednosti $Wm - \theta$.

Kompletan prethodni postupak naveden za pumpne-turbine važi i za pumpe, jedina je razlika što kod pumpi imamo Četvorokvadrantne krive za razne postotke broja obrtaja sa kojim trenutno radi pumpa. Prethodno navedene formule za relativni pad, relativni moment, relativni broj obrtaja. relativni protok, karakteristiku pada, karakteristiku momenta i ugao θ prikazane su i izvedene u knjigama autora - Chaudhry, M. H. (1979) [3]; Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4].

U radu koji su objavili autori Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996). *Pump characteristics for transient flow analysis*, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics City University, London EC1V0HB [6]. Detaljno su objašnjene i prezentovane bezdimenzione grupe, poznate i pod nazivom homologni zakoni kao i afinitetni zakoni, dimenzionalna analiza rotorajućih - dinamičkih pumpi daje nam bezdimenzionalne koeficijente protoka, pada i snage. Ove bezdimenzione grupe poznate i pod nazivom homologni zakoni, mogu biti redukovani do afinitetnih zakona.

Izostavljanjem prečnika radnog kola, gravitacionog ubrzanja i gustine tečnosti u ovom obliku odnosi više nijesu bezdimenzionalni, ali to se prevaziđe tako što se dijele svi relevantni parametri sa njihovim odgovarajućim vrijednostima pri optimalnim uslovima i uvođenjem obrtnog momenta dobijaju se bezdimenzione karakteristike *h*, *v*, *a*, *β*. Prof. dr Thorley u ovom radu je detaljno objasnio postupak koji su razvili Suter i Marchel kao i napredak koji su napravili izvođenjem obrazaca za bezdimenzionalni pad i protok *Wh* i *Wm*, kao i postupak koji su razvili [Chaudhry (1987), Svaffield & Boldy (1993), Wylie & Streeter (1993) [4]] u svojim radovima i knjigama i u kojoj mjeri njihovi obrasci za bezdimenzionalni pad i protok *Wh* i *Wm* odstupaju od obrazaca koji su izveli Suter i Marchel. Ključni napredak koji je napravio Suter [Marchel et al (1965), Suter (1966) [13]] je da je iskoristo činjenicu da protok i brzina se obično ne ponište istovremeno, sa inkorporacijom oboje i bezdimenzionalnog protoka i brzine u imeniocima jednačina pada i obrtnog momenta, bio je u stanju da izbjegne dijeljenje sa nulom, i predložio modifikaciju bezdimenzionih uslova, *Wh* = *sign of h* $\sqrt{(|h| / \alpha^2 + v^2)}$, *Wm* = *sign of* $\beta \sqrt{(|\beta| / \alpha^2 + v^2)}$, *Wh* i *Wm* su revidovani bezdimenzionalni pad i protok, oboje su iscrtani u odnosu na θ , Str. 70 od 600

gdje je θ definisano sa $\theta = tan^{-1}(\alpha/v)$. Prednost ove formulacije je da karakteristike pada i obrtnog momenta za sve zone rada rotirajućih-dinamičkih pumpi mogu biti predstavljene bez rizika od stvaranja beskonačnih vrijednosti, kvadratni korjeni su predloženi kako bi se obezbijedila veća preciznost pri niskim brojevima. Navedeno je da neki tekstovi [npr. Chaudhry (1987), Svaffield & Boldy (1993), Wylie & Streeter (1993) **[4]**] ustvari ne prate ovu strategiju i izostavljaju kvadratni korjen, jer to čini malo lakše uključivanje ove procedure u analizu prelaznih procesa protoka, napomenuo je da neke analize definišu θ kao $\theta = tan^{-1}(v/\alpha)$. Objasnio je da u ovom radu se koristi originalna definicija Sutera, kao što su navedeni prethodni izrazi za *Wh*, *Wm* i θ . U prethodnom dijelu teksta navedeni su izarazi za bezdimenzione karakteristike *h*, *v*, *a*, *β*, bezdimenzionalni pad i protok *Wh* i *Wm* i ugao θ , koji su razvijeni za pumpu i pumpnu-turbinu i prikazani u knjigama i radovima autora, Chaudhry (1987); Svaffield & Boldy (1993); Wylie & Streeter (1993) **[4]**; Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996) **[6]**.

U radu od autora, Zheng, X. B. 1,2, Guo, P. C. 1,2, Tong, H. Z. 1 and Luo, X. Q. 1,2 (2012). Improved Suter-transformation for complete characteristic curves of pump-turbine; 1 Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, No.5 South Jinhua Road, Xi'an, 710048, China; 2 FINE Institute for Hydraulic Machinery, A-16F, Huaxing Times Plaza, No.478 Wensan Rd, Hangzhou, 310013, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China [8], u radu je objašnjeno da je Suterov fizički koncept jasan i koji je kompletne karakteristike krivih reverzibilnog agregata u okviru četiri kvadranta prema sledećim formulama pretvoriti u ciklične promjene ove dvije krive, $Wh(x) = h / \alpha^2 + v^2$ i $Wm(x) = \beta / \alpha^2 + v^2$, u kojima su $\alpha = n / n_r$ relativni broj obrtaja, $v = Q / Q_r$ - relativni protok, $\beta = M / M_r$ - relativni moment, $h = H / H_r$ relativni pad, $x = \arctan v/\alpha$. Posebna pažnja u ovom radu je posvećena izvođenju izraza za bezdimenzionalni pad i protok Wh i Wm i ugao θ , za pumpnu-turbinu i uvedena je nova promjenjiva otvorenost lopatica sprovodnog aparata. U ovom radu razvijena je nova poboljšana metoda za transformaciju Suterove krive, transformacija Wh i Wm krivih je sprovedena površinskim fitingom. Predstavljen je novi metod za preračunavanje karakteristika krivih pumpne-turbine koji uključuje novu promenljivu u ovoj transformaciji, otvorenost lopatica sprovodnog aparata. Objašnjeno je da za reverzibilne agregate sa lopaticama sprovodnog aparata, treba da postoji promenljiva u ovoj transformaciji, otvorenost lopatica sprovodnog aparata y = Y $/Y_r$, $Wh(x,y) = h/((n_{11}/n_{11r})^2 + (Q_{11}/Q_{11r})^2)$, $Wm(x,y) = M_{11} + M_{11r}/((n_{11}/n_{11r})^2 + (Q_{11}/n_{11r})^2)$ $(Q_{11r})^2$), prema tome $\alpha \ge 0$ $x = \arctan[(Q_{11}/Q_{11r})/(n_{11}/n_{11r})], \alpha \le 0$ $x = \pi + \arctan[(Q_{11}/Q_{11r})]$ (n_{11}/n_{11r}) , gde su Q_{11} , n_{11} , M_{11} respektivni jedinični protok, brzina, obrtni moment, a Q_{11r} , n_{11r} , M_{11r} , respektivni nominalni protok, brzina i obrtni moment. Navedeno je da kroz prethodne izraze konvertuju se krive, transformacije su uglavnom ravne krive na obje strane, i smanjuje se na obje strane ukrštanje i preklapanje, ali distribucija krive nije uniformna, pri manjim otvorima tada je kriva previše udaljena, pri većim otvori tada su krive suviše blizu. Objašnjeno je da u pumpnoj oblasti i anti-pumpnoj oblasti smanjena su ukrštanja i preklapanja ali nijesu potpuno eliminisana u krivini na lijevoj strani pada, postoji kriva gotovo vertikalna x osi, i može imati više vrijednosti. Navedeno je da ovaj metod transformisanja krivih je i dalje sa nedostacima, tako da efekat interpolacije nije baš idealan, i da su neke korekcije napravljene na Suterovoj krivi uglavnom u ovom radu, i sledeći odnos konverzija je iznijet, Wh $(x,y) = y^2 / ((n_{11}$ $(n_{11r})^2 + (Q_{11}/Q_{11r})^2) = (h/\alpha^2 + v^2)y^2$, $Wm(x,y) = ((M_{11} + k_1)/M_{11r})y = (\beta/h + k_1/M_{11r})y$, kada je $\alpha \ge 0$ $x = \arctan \left[(Q_{11} / Q_{11r} + k_2) / (n_{11} / n_{11r}) \right] = \arctan \left[(v + k_2 \sqrt{h}) / \alpha \right]$, kada je $\alpha < 0$ $x = \pi + \arctan \left[(Q_{11} / Q_{11r} + k_2) / (n_{11} / n_{11r}) \right] = \pi + \arctan \left[(v + k_2 \sqrt{h}) / \alpha \right]$, sada se spoznaje značaj koeficijenta - k_1 za koji su uzete vrijednosti od 1.0 do 1.8, i koeficijenta - k_2 za koje su uzete vrijednosti od 0,5 do 1.2.

- 4.2 Primjer preračunavanja Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive (Klasična literatura Knapp, R. T. (Nov. 1937), Stepanoff, A. J. (1959))
- 4.2.1 Očitavanje podataka sa originalnih dijagrama (H/H* Q/Q^*) i (M/M* Q/Q^*) sa krivima za razne pozitivne i negativne procentualne vrijednosti (n/n*) za pumpu nq = 35 (25) iz knjige Stepanoff (1959)

Na Slici 23, prikazani su dijagrami $(H/H^*-Q/Q^*)$ i $(M/M^*-Q/Q^*)$ sa krivima za razne procentualne pozitivne i negativne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959) **[1].** Autor ove doktorske disertacije izvršio je očitavanje vrijednosti sa svih navedenih krivih za razne procentualne vrijednosti (n/n^*) , shodno postupku navedenom u narednom dijelu teksta.



Slika 23. Originalni dijagrami ($H/H^* - Q/Q^*$) i ($M/M^* - Q/Q^*$) sa krivima za razne pozitivne i negativne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959).

Za očitavanje podataka sa dijagrama $(H/H^* - Q/Q^*)$ i $(M/M^* - Q/Q^*)$ sa krivima za razne negativne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25) iz knjige Stepanoff (1959), prikazanih na Slici 23, korišten je softver Autodesk AutoCAD. Postupak očitavanja se sastoji iz 4 koraka. Svaki od koraka je objašnjen u nastavku.

<u>Korak 1</u> - Dijagrami sa kojih je trebalo očitati podatke su prvo skenirani da bi se dobio format koji je moguće importovati u AutoCAD. AutoCAD podržava importovanje fajlova ekstenzije JPG i PDF, tako da se skenirani fajl mora snimiti u pomenute ekstenzije.
<u>Korak 2</u> - Skenirani dijagrami koji su snimljeni u ekstenziji JPG ili PDF se zatim importuju u AutoCAD. Kada se importuju dijagrami vrši se crtanje krivih (n/n^*) koje su date na dijagramima. Prilikom importovanja dijagrama u AutoCAD-u, važno je znati da ose koje se nalaze na dijagramu, ne poklapaju se sa koordinatama u AutoCAD-u. Zbog ovog nedostatka, traženje koordinata presječne tačke koristit će se proporcija.

<u>Korak 3</u> - Poslije crtanja krivih jedan od glavnih koraka jeste generisanje mreže sa dijagrama. Mreža koja je data na skeniranom dijagramu predstavlja osnov. Svaki skenirani dijagram nije idealan što se tiče rasporeda osa, tj., ose na dijagramu nijesu idealne što se tiče poklapanja sa horizontalom i vertikalom. Ovaj deformitet je veoma bitno uzeti u obzir prilikom očitavanja podataka. Prikaz deformiteta je dat na Slici 24.



Slika 24. Prikaz deformiteta osa kod skeniranih dijagrama.

<u>Korak 4</u> - Poslije crtanja krivih i generisanja mreže slijedi očitavanje podataka. Očitavanje podataka se vrši po kvadratićima. Na Slici 25, prikazan je primjer uzimanja jednog kvadratića za očitavanje podataka sa dijagrama.



Slika 25. Prikaz uzimanja kvadratića za očitavanje podataka.

Kvadratić smo označili sa tačkama A, B, C i D. Svaka tačka ima svoje koordinate na dijagramu. Sa Slici 26 se vidi da kvadratić koji smo uzeli za očitavanje ne predstavlja četvorougao kod kojeg su stranice normalne jedna na drugu što malo otežava očitavanje podataka. Bitan podatak prilikom očitavanja jeste korak po kojem se očitavaju podaci krivih. Kao standard za očitavanje podataka po *x*-osi je uzet korak 1. U zavisnosti od snimljenog dijagrama tj. od rastojanja vertikalnih osa dijelimo horizontalne duži na određen broj. U našem slučaju \overline{AB} i \overline{CD} dijelimo na 24 podioka tako da dobijemo tačnu raspodjelu koraka 1 na *x*-osi. Rastojanje koraka 1 neće biti isto na \overline{AB} i \overline{CD} ali će predstavljati jednaku podjelu. Ovo je važno za očitavanje podatka. Ova podjela je data na Sl. 26.



Slika 26. Prikaz podjele kvadratića na iste podioke.

Na primjeru prikazanom u ovoj doktorskoj disertaciji tačke imaju sledeće vrijednosti po koordinatama: A(25,40), B(50,40), C(25,80) i D(50,80). U ovom kvadratiću očitavamo vrijednosti presjeka krive sa svakim podiokom i tako nalazimo vrijednost na *y*-osi. Rastojanje između prave koje čine tačke A i B, kao i prave koje čine tačke C i D, nije isto na svakom podioku. Da bi našli tačnu vrijednost presjeka podioka i krive, moramo uzeti u obzir rastojanje presjeka podioka i krive od obje prave, zatim proporcijom doći do tačne vrijednosti. Prikaz u AutoCAD-u rastojanja presjeka krive i podioka je dat na Slici 27, sa tačnošću od 10⁻⁸.



Slika 27. Prikaz rastojanja presjeka krive i podioka.

Ako uzmemo da svaki kvadratić koji koristimo za računanje presjeka označimo sa tačkama A, B, C i D, a tačku presjeka sa M, tada jednačina proporcije (20) po kojoj dobijamo vrijednosti ima sledeći oblik:

$$M_{y}(x) = A_{y} + \frac{(c_{y} - A_{y}) \cdot AM}{AM + MC}$$

$$\tag{20}$$

Na Slici 27 je prikazan primjer za x = 34. U AutoCAD-u koristimo opciju za dimenzionisanje i nalazimo vrijednosti rastojanja presječne tačke M sa podiocima na pravima AB i CD. Možemo primijetiti da su vrijednosti u AutoCAD-u drugačije od stvarnih vrijednosti ali one takve ne smetaju prilikom dobijanja stvarne vrijednosti. Na osnovu dobijenih rastojanja AM i MC dobijamo sledeći rezultat:

$$M_y(34) = A_y + \frac{(c_y - A_y) \cdot AM}{AM + MC} = 40 + \frac{(80 - 40) \cdot 206.05164457}{206.05164457 + 86.98727725} = 40 + \frac{8242.0657828}{293.03892182}$$

$M_{\nu}(34) = 40 + 28.126181094342 = 68.126181094342$

Za preciznost podatka je uzeta vrijednost 10^{-12} . Ovaj postupak se ponavlja za svako postojeće *x* za određenu krivu n/n^* . Dobijeni podaci se dalje sortiraju u Microsoft Excel-u zbog dalje analize.

4.2.2 Ubacivanje podataka u MATLAB-u

Podatke koje smo svrstali u Excel-u a dobijene sa očitavanja dijagrama ($H/H^* - Q/Q^*$) i ($M/M^* - Q/Q^*$) sa krivima za razne negativne i pozitivne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25) iz knjige Stepanoff (1959) [1], dalje obrađujemo u softveru MATLAB. MATLAB je platforma koja je optimizovana za rješavanje inženjerskih i naučnih problema. MATLAB je najveći svjetski softver za izračunavanje računarske matematike. Ugrađeni grafici nam daju dobar vizuelni pregled i uvid u podatke.

Importovanjem podataka iz Excel-a dobijenih iz dijagrama ($H/H^* - Q/Q^*$) i ($M/M^* - Q/Q^*$) sa krivima za razne negativne i pozitivne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25) iz knjige Stepanoff (1959) [1], u MATLAB, dalje koristimo za dobijanje 3D prikaza. Koordinatni sistem 3D prikaza koji smo upotrijebili za prikaz ova dva dijagrama je dat na Slici 28.



Slika 28. Koordinatni sistem 3D u MATLAB-u.

Obzirom da dobijeni podaci za svako n/n^* predstavljaju linije u 3D prostoru, pomoću MATLAB-a generisali smo mrežu između linija u prostoru da bi dobili jednu površinu. U nastavku je tražen presjek dobijene površine za različite vrijednosti *H* i *M*. Dobijeni presjek površine i ravni *H* ili *M*, dalje ponovo importujemo kao sliku u AutoCAD zbog crtanja krive presjeka kao i očitavanja podataka. Očitavanje podataka u AutoCAD-u je bilo potrebno zbog rastojanja krivih na osi n/n^* jer je razmak krivih n/n^* iz očitavanja dijagrama iz prethodnog pasusa koraka 25. Postupak očitavanja podataka sa 3D dijagrama u AutoCAD-u zbog dobijanja krivih različitih vrijednosti *H* i *M*, u dijagramu gdje su ose $Q/Q^* - n/n^*$ je isti kao u prethodnom pasusu.

4.2.3 Analitički izgled Četvorokvadrantnih krivih (H/H* - Q/Q^*) i (M/M* - Q/Q^*)

Nakon što je izvršeno očitavanje vrijednosti (shodno postupku navedenom u poglavljima 4.2.1 i 4.2.2) sa svih navedenih krivih za razne procentualne vrijednosti (n/n^*), sa originalnog dijagrami ($H/H^* - Q/Q^*$) i ($M/M^* - Q/Q^*$) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959) [1], prikazanog na Slici 23, dobijeni su dijagrami prikazani u narednom dijelu teksta na Slikama 29, 30, 31.



Slika 29. Dijagram (*H/H** - Q/Q^*) sa krivima za razne pozitivne procentualne vrijednosti (*n/n**) za pumpu nq = 35 (25), dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959).



Slika 30. Dijagram ($H/H^* - Q/Q^*$) sa krivima za razne negativne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959).



Slika 31. Dijagram ($M/M^* - Q/Q^*$) sa krivima za razne negativne i pozitivne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959).



Slika 32. Uporedni originalni dijagram ($H/H^* - Q/Q^*$) i dijagram ($H/H^* - Q/Q^*$) - (dobijen očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959)) sa krivima za razne pozitivne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959).



Slika 33. Uporedni originalni dijagram ($H/H^* - Q/Q^*$) i dijagram ($H/H^* - Q/Q^*$) - (dobijen očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959)) sa krivima za razne negativne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959).



Slika 34. Uporedni originalni dijagram ($M/M^* - Q/Q^*$) i dijagram ($M/M^* - Q/Q^*$) - (dobijen očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959)) sa krivima za razne pozitivne i negativne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959).

4.2.4 Analitički izgled Četvorokvadrantnih krivih $(n/n^* - Q/Q^*)$ sa presjecima H i M

Nakon prethodno navedenog postupka, autor ove doktorske disertacije izvršio je preračunavanje i prevođenje dijagrama $(H/H^* - Q/Q^*)$ i $(M/M^* - Q/Q^*)$ sa krivima za razne pozitivne i negativne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35 (25), prikazane na Slikama 29, 30, 31 u dijagrame $(n/n^* - Q/Q^*)$ unutar kojih se nalaze krive H i M sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima, prikazanim na Slikama 36 i 37, (shodno postupku navedenom u poglavljima 4.2.1 i 4.2.2). Takođe za realizaciju prethodno navedenog postupak autor je pratio sadržaj iz knjige od Stepanoff (1959) [1].



Slika 35. Originalnih dijagrama ($n/n^* - Q/Q^*$) unutar kojeg se nalaze krive H i M sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) iz knjige Stepanoff (1959).



Slika 36. Dijagram ($n/n^* - Q/Q^*$) unutar kojeg se nalaze krive *H* sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25), dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959).



Slika 37. Dijagrami $(n/n^* - Q/Q^*)$ unutar kojeg se nalaze krive *M* sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25), dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959).



Slika 38. Uporedni originalni dijagram $(n/n^* - Q/Q^*)$ i dijagrami $(n/n^* - Q/Q^*)$ - (dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama od Stepanoff (1959)) sa krivima za razne pozitivne i negativne procentualne vrijednosti (*M*) i (*H*) za pumpu nq = 35 (25), preuzeti od Stepanoff (1959).

4.2.5 Preračunavanje u Suterov oblik krivih

U narednom dijelu teksta autor ove doktorske disertacije izvršio je preračunavanje podataka (prema postupku navedenom u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4], a koji je objašnjen u prethodom dijelu teksta ove doktorske disertacije) sa dijagrama ($n/n^* - Q/Q^*$) unutar kojih se nalaze krive H i M sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) prikazani na Slikama 36 i 37, dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama iz knjige Stepanoff (1959) [1], u Suterove krive prikazane na Slici 43. Zatim je autor ove doktorske disertacije izvršio poređenje Suterovih krivih dobijenih prethodno navedenim postupko sa Suterovim krivim prikazanim na originalnom dijagramu Slika 41, iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4].

Da bi se lakše razumio kompletan prethodno navedeni postupak preračunavanja koji je detaljno objašnjen u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4] (a što je i predstavljeno u prethodnom dijelu ove doktorske disertacije). Na sledećim Slikama 39 i 40, prikazani su dijagrami $(n/n^* - Q/Q^*)$ unutar kojeg se nalaze krive *H i M* sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) i unutar ovih dijagrama ucrtan je položaj ugla θ , dijagonale d^2 i stranica α , *v*.



Slika 39. Prikaz dijagrama ($n/n^* - Q/Q^*$) unutar kojeg se nalaze krive H sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) i unutar ovog dijagrama ucrtan je položaj ugla θ , dijagonale d^2 i stranica α , v.



Slika 40. Prikaz dijagrama $(n/n^* - Q/Q^*)$ unutar kojeg se nalaze krive *M* sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) i unutar ovog dijagrama ucrtan je položaj ugla θ , dijagonale d^2 i stranica α , *v*.

Na Slici 41, prikazan je originalni dijagram sa Suterovim krivima karakteristika Wh(WH) i Wm(WB) za pumpu nq = 35 (25) (pojašnjenje-razlog zbog kojeg stoje dva broja 35 i 25 uz ovaj nq je sledeći, pošto je ovo radijalna dvousisna pumpa i dosta autora je označavalo ovaj tip pumpe sa nq = 35, međutim ispravno je da se označava sa nq = 25 jer se radi o dvousisnoj pumpni i protok se dijeli), iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4], koje su dobijene preračunavanjem podataka (prema postupku navedenom u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4] sa originalnih dijagrama ($n/n^* - Q/Q^*$) unutar kojeg se nalaze krive H i M sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) iz knjige Stepanoff (1959) [1] - (prikazani na Slici 35). Takođe na Slici 42, dat je tabelarni prikaz podataka Suterovih krivih kompletnih karakteristika Wh(WH) i Wm(WB) za dvostruko usisnu radijalnu pumpu nq = 35 (25), poluaksijalnu pumpu nq = 147, aksijalnu pumpu nq = 261, iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4].



Slika 41. Originalni dijagram sa Suterovim krivima kompletnih karakteristika Wh(WH) i Wm(WB) dvostruko usisne pumpe, nq = 35 (25), iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993).



Slika 42. Originalni tabelarni prikaz podataka Suterovih krivih kompletnih karakteristika Wh(WH) i Wm(WB) za dvostruko usisnu pumpe nq = 35 (25), poluaksijalnu pumpu nq = 147, aksijalnu pumpu nq = 261, iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993).

U narednom dijelu teksta prikazane su Suterove krive karakteristika Wh i Wm za pumpu nq = 35 (25) prikazane na Slici 43, a koje je autor ove doktorske disertacije dobio

preračunavanjem podataka (prema postupku navedenom u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993) [4]) sa dijagrama ($n/n^* - Q/Q^*$) unutar kojeg se nalaze krive H i M sa raznim procentualnim pozitivnim i negativnim vrijednostima za pumpu nq = 35 (25) dobijeni očitavanjem podataka sa originalnih dijagrama iz knjige Stepanoff (1959) [1], prikazanih na Slikama 36 i 37.

ng = 35(25)- (Stepanoff 1959 Krive n/n* = (100%) i n/n* = (-100%) - preračunate u Suterove



Slika 43. Suterove krive *Wh* i *Wm* dobijene preračunavanjem krivih sa dijagrama prikazanih Slikama 33 i 34, iz Stepanoff 1959, po postupku navedenom u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. 1993), za nq = 35 (25).

U (Prilogu – P2) - Tabela sa preračunatim podacima Krive $n/n^* = 100\%$ i Krive $n/n^* = -100\%$ iz Stepanoff 1959 u Suterove krive *Wh* i *Wm*, saglasno postupku iz knjige Wylie, E. B. & Streeter, V. L. 1993.), ove doktorske disertacije nalaze se tabele sa podacima Suterovih krivih *Wh* i *Wm* prikazanih na Slici 43, dobijenih preračunavanjem krivih sa dijagrama prikazanih na Slikama 36 i 37, iz Stepanoff (1959) [1], po postupku navedenom u knjizi Wylie, E. B. & Streeter, V. L. 1993 [4]), za nq = 35 (25).

5. Istraživanje analitičke veze u podacima za radne krive date u jednom kvadrantu (pumpe) - (Klasična literatura – Stepanoff, A. J. (1957), Pfleiderer, C. (1961))

5.1 Regresija

Opšti komentari na linearnu regresiju - Prije nego što se pređe na krivolinijske i višestruke linearne regresije, moramo naglasiti uvodno prirodu o linearnoj regresije. Fokus je na jednostavna izvođenja i praktičnu primjenu jednačina za fitovanje-uklapanje podataka. Trebalo bi da budemo svjesni činjenice da postoje teorijski aspekti regresije koji su od praktičnog značaja.

Na primjer, neke statističke pretpostavke koje su svojstvene u proceduri linearnih najmanjih kvadrata:

1. Svako x ima fiksnu vrijednost, nije slučajno i poznato je bez greške.

2. y vrijednosti su nezavisne slučajne promenljive i sve imaju iste varijacije.

3. y vrijednosti za dato x moraju biti normalno distribuirane.

Takve pretpostavke su relevantne za pravilno izvođenje i korišćenje regresije. Na primjer, prva pretpostavka znači da (1) x vrijednosti moraju biti bez grešaka i (2) regresija y u odnosu na x nije ista kao x u odnosu na y. Potrebno je konsultovati i druge reference, kao što Draper i Smith (1981) i da se ocijene i drugi aspekti i nijanse regresije. Više detalja o linearnoj regresiji može se vidjeti u (Prilogu - P3) - Regresija, ove doktorske disertacije.

Polinomalna regresija

Pošto se u ovoj doktorskoj disertaciji koristi i primjenjuje polinomna regersija u programu Matlab za razvijanje numeričkih modela koji će biti navedeni i objašnjeni u Poglavljima, 5.3, 5.4, 6 i 7. Iz tog razloga se u ovom dijelu teksta detaljnije piše o polinomalnoj regresiji.

Razvijen je postupak za izvođenje jednačine prave linije koristeći kriterijum najmanjih kvadrata. Neki inženjerski podaci, iako ispoljavaju naznačeni uzorak kao što je prikazano na Slici 44, su slabo predstavljeni pravom linijom **[54]**.



Slika 44. (a) Podaci koji su nijesu pogodni za linearnu regresiju najmanjim - kvadratima. (b) Naznaka da je parabola poželjna.

Za ove slučajeve, kriva će biti bolje prilagođena da odgovara ovim podacima. Jedan metod za postizanje ovog cilja je da se koriste transformacije. Druga alternativa je da se kriterijum najmanjih kvadrata može lako proširiti na fitovanje - uklapanje podataka do polinoma višeg reda. Na primjer, pretpostavimo da mi fitujemo - uklapamo polinom drugog reda ili kvadratni polinom:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + e \tag{21}$$

Za ovaj slučaj zbir - suma kvadrata ostataka - riziduala je,

$$S_r = \sum_{i=1}^n \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 \right)^2$$
(22)

Prateći postupak u prethodnom odjeljku, uzimamo izvod jednačine (22) u odnosu na svaki od nepoznatih koeficijenata polinoma, kao u

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2\sum \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 \right)$$
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2\sum x_i \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 \right)$$
(23)

88

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2\sum x_i^2 \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 \right)$$

Ove jednačine mogu se podesiti da su jednake nuli i preuređivanjem da se razvije set sledećih normalnih jednačina:

$$(n)a_{0} + (\sum x_{i})a_{1} + (\sum x_{i}^{2})a_{2} = \sum y_{i}$$

$$(\sum x_{i})a_{0} + (\sum x_{i}^{2})a_{1} + (\sum x_{i}^{3})a_{2} = \sum x_{i}y_{i}$$

$$(24)$$

$$(\sum x_{i}^{2})a_{0} + (\sum x_{i}^{3})a_{1} + (\sum x_{i}^{4})a_{2} = \sum x_{i}^{2}y_{i}$$

gde su sva sumiranja od i = 1 do n. Imajte na umu da su gore navedene tri jednačine linearne i da imaju tri nepoznate: a_0 , a_1 , i a_2 . Koeficijenti nepoznatih mogu se izračunati direktno iz posmatranih podataka.

Za ovaj slučaj, vidimo da je problem određivanja najmanjih - kvadrata polinoma drugog - reda ekvivalentan rješavanju sistema tri simultane linearne jednačine.

Dvodimenzionalni slučaj može se lako proširiti na polinom m - reda kao

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m + e$$
(25)

Navedena analiza može se lako proširiti na ovaj opštiji slučaj. Na taj način, mi možemo prepoznati da utvrđivanje koeficijenata jednog polinoma m - reda je ekvivalentno rješavanja sistema m + 1 simultanih linearnih jednačina. Za ovaj slučaj, standardna greška je formulisana kao

$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{S_r}{n - (m+1)}} \tag{26}$$

Ova količina je podijeljena sa n - (m + 1), jer (m + 1) podataka izvoda koeficijenata - a_0 , a_1, \ldots, a_m - je korišćeno za izračunavanje *Sr*; dakle, mi smo izgubili m + 1 stepeni slobode. Pored standardne greške, koeficijent determinacije može se izračunati i za polinomijalnu regresiju.



Slika 45. Fitovanje – uklapanje polinoma drugog reda [54]

5.2 Detalji postupka određivanja analitičke veze

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvorokvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije izučeni u literaturi nego za kompletne Četvorokvadrantne krive karakteristika. Zbog toga su preuzimani ti podaci iz literature – (iz knjige od autora Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump* **[55]**, autor ove doktorske disertacije očitao je podatke sa originalnog dijagrama prikazanog na Slici 46, na kome je prikazano sedam krivih za sedam modela pumpi (krive 1 (nq = 12.32), 2 (nq = 20.53), 3 (nq = 30.11), 4 (nq = 41.07), 5 (nq = 54.76), 6 (nq = 110.35), 7 (nq = 178.15)) i (iz knjige od autora Pfleiderer, C. (1961) – *Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase* **[56]**, autor ove doktorske disertacije očitao je podatke sa originalnog dijagrama prikazanog na Slici 48, na kome je prikazano pet krivih za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 110), f (nq = 220)), krive navedene u knjigama od ovih autora su samo za pumpni režim da bi se utvrđivanje zakonitosti na njima i provjeravalo, korišćenjem postupka peglanja metodom polinomalne regresija koja je objašnjena u poglavlju 5.1 ove doktorske disertacije.

U programu Matlab na osnovu podataka sedam krivih za sedam modela pumpi iz knjige od autora Stepanoff, A. J. (1957) **[55]**, razvijen je numerički model postupkom polinomalne regresije, za dobijanje Univerzalne krive, za analizu postojanja opštije zakonitosti u obliku dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine obrtanja - nq. Takođe u odvojenom postupku u programu Matlab na osnovu podataka pet krivih za pet modela pumpi iz knjige od autora Pfleiderer, C. (1961) **[56]**, razvijen je numerički model postupkom polinomalne regresije, za dobijanje Univerzalne krive, za analizu postojanja opštije zakonitosti u obliku dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine obrtanja nq. Prije nego što autor ove doktorske disertacije pređe na opisivanje numeričkih modela i rezultata dobijenih numeričkim modelima u peogramu Matlab, biće navedeni dijagrami sa originalnim i očitanim podacima iz knjiga navedenih autora.

Kao što navedeno u prethodnom dijelu teksta, iz knjige od autora Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump* **[55]**, autor ove doktorske disertacije očitao je podatke sa originalnog dijagrama prikazanog na Slici 46, na kome je prikazano sedam krivih za sedam modela pumpi (krive 1 (nq = 12.32), 2 (nq = 20.53), 3 (nq = 30.11), 4 (nq = 41.07), 5 (nq = 54.76), 6 (nq = 110.35), 7 (nq = 178.15)), krive navedene u knjizi od ovog autora su samo za pumpni režim. Dok na Slici 47, prikazan je dijagram sa očitanim podacima sedam krivih za sedam modela pumpi. Postupak očitavanja podataka je identičan sa postupkom koji autor ove doktorske disertacije objasnio u prethodnom dijelu teksta (poglavlja 4.2.1 i 4.2.2) a koji se odnosio na očitavanje podataka sa originalnih dijagrama ($H/H^*-Q/Q^*$) i ($M/M^*-Q/Q^*$) sa krivima za razne negativne i pozitivne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35(25) iz knjige Stepanoff (1959) **[1]**.



Slika 46. Dijagram sa originalnih sedam krivih za sedam modela pumpi (krive 1 (nq = 12.32), 2 (nq = 20.53), 3 (nq = 30.11), 4 (nq = 41.07), 5 (nq = 54.76), 6 (nq = 110.35), 7 (nq = 178.15)), iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*.



Slika 47. Dijagram sa sedam krivih za sedam modela pumpi (krive 1 (nq = 12.32), 2 (nq = 20.53), 3 (nq = 30.11), 4 (nq = 41.07), 5 (nq = 54.76), 6 (nq = 110.35), 7 (nq = 178.15)), dobijenih očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*.

Takođe iz knjige od autora Pfleiderer, C. (1961) – Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase [56], autor ove doktorske disertacije očitao je podatke sa originalnog

dijagrama prikazanog na Slici 48, na kome je prikazano pet krivih za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 110), f (nq = 220)), krive navedene u knjizi od ovog autora su samo za pumpni režim. Dok na Slici 49, prikazan je dijagram sa očitanim podacima pet krivih za pet modela pumpi. Postupak očitavanja podataka je identičan sa postupkom koji je autor ove doktorske disertacije objasnio u prethodnom dijelu teksta (poglavlja 4.2.1 i 4.2.2) a koji se odnosio na očitavanje podataka sa originalnih dijagrama ($H/H^*-Q/Q^*$) i ($M/M^*-Q/Q^*$) sa krivima za razne negativne i pozitivne procentualne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 35(25) iz knjige Stepanoff (1959) [1].



Slika 48. Dijagram sa originalnih pet krivih za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 110), f (nq = 220)), iz knjige Pfleiderer, C. (1961) – Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase.



Slika 49. Dijagram sa pet krivih za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 110), f (nq = 220)) dobijenih očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Pfleiderer, C. (1961) – *Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase*.

5.3 Nalaženje analitičke veze za krive poznate iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957)

Na Slici 47, prikazan je dijagram sa 7 krivih modela pumpi navedenih u knjizi od autora Stepanoff, A. J. (1957) **[55]**. Postupkom regresije u programu Matlab razvijen je *Numerički model (1)* za dobijanje Univerzalne Jednačine, izvršena je aproksimacija određenog broja tačaka (sa određenim korakom) sa sedam krivih za sedam modela pumpi sa matematičkom krivom (polinomom trećeg stepena) postupkom regresije u programu Matlab. Zatim je razvijen *Numerički model (2)* u programu Matlab za dobijanje Univerzalne Jednačine, izvršena je aproksimacija određenog broja tačaka (sa određenim korakom) sa sedam krivih za sedam modela pumpi sa matematičkom krivom (kriva modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi) postupkom regresije u programu Matlab.

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenih Numeričkih modela (1), (2) u programu Matlab.

5.3.1 Numerički model (1) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957)

U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama H (pad) – V (kapacitet) kroz sedam krivih za sedam modela pumpi (iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) [55]) provučena je srednja matematička kriva (polinom trećeg stepena). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su ΔH rastojanja svake od sedam krivih sedam nq-ova pumpi do srednje krive, zatim su dobijene vrijednosti za ΔH za svaku od sedam krivih sedam nq-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u eksel tabele. U trećem koraku su izvršeni vertikalni presjeci krivih sedam nq-ova modela pumpi na opsegu V (kapacitet) (18% - 130%) sa korakom jedan ukupno 113 presjeka, i u svakom od 113 presjeka na svakoj od sedam krivih ngova pumpi očitane vrijednosti za ΔH u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab, i nakon toga je dobijeno 113 dijagrama za svaki od navedenih presjeka sa kordinatama ΔH - nq i provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 113 polinoma. U četvrtom koraku su očitane vrijednosti za sve koeficijente koji figurišu u polinomima trećeg stepena (ukupno 113 polinoma i 452 koeficijenta) koji su provučeni između tačaka sa vrijednostima za ΔH - nq, za svaki od 113 dijagrama. Navedene vrijednosti za četiri koeficijenta (ukupno 452 vrijednosti koeficijenata) iz polinoma trećeg stepena (ukupno 113 polinoma) su izvezene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab u eksel tabele i sortirane za svako od sedam nq-ova modela pumpi. U petom koraku posebno na četiri odvojena dijagrama sa kordinatama koeficijent - kapacitet (V), sortirane su vrijednosti za četiri koeficijenta (ukupno 452 vrijednosti koeficijenata) iz 113 polinoma trećeg reda, i kroz tačke sa vrijednostima koeficijent-kapacitet ova četiri koeficijenta (iz 113 polinomas trećeg stepena) provučene nove matematičke krive (polinom trećeg stepena). Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog numeričkom modelu u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) - srednje krive i matematička jednačina (polinom trećeg reda) - delta, pri čemu se delta sastoji od matematičkih jednačina (polinomi trećeg stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za ΔH - ng za svaki od sedam ng-ova modela pumpi, i polinoma trećeg stepena za svaki od četiri koeficijenta koji figurišu u prethodno navedenim polinomima trećeg stepena za ΔH - ng. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantno je nq a u koeficijentima figuriše kapacitet (V). Takođe u razvijenom Numeričkom modelu (1) u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za nq i da se dobijene krive za nove nq-ove upoređuju sa krivima sedam modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuje vrijednost za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u Numeričkom modelu (1) za izračunavanje tačnosti r^2 za svako novo nq provučeno kroz Univerzalnu Jednačinu.

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalaze se kodovi i dijagrami razvijenih *Numeričkih modela (1), (2), (3), (4)* na osnovu krivih modela pumpi za samo jedan kvadrant iz klasične literature – primjer Stepanoff, A.J. (1957) **[55]**, Pfleiderer, C. (1961) **[56]**.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramiraju *Numerički modeli (1), (2), (3), (4)* sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog *Numeričkog modela (1)* u programu Matlab prikazani na dijagramima na Slikama 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57 stim što u ovom dijelu doktorske disertacije biće prikazani dijagrami na Slikama 50 i 57, dok dijagrami sa Slikama 51, 52, 53, 54, 55, 56 biće prikazani u (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.



Slika 50. Dijagram sa sedam krivih za sedam modela pumpi (krive 1 (*nq* = 12.32), 2 (*nq* = 20.53), 3 (*nq* = 30.11), 4 (*nq* = 41.07), 5 (*nq* = 54.76), 6 (*nq* = 110.35), 7 (*nq* = 178.15)), dobijenih očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*, kroz koje je u *Numeričkom modelu (1)* provučena srednja kriva polinom trećeg reda.



Slika 57. Dijagram sa krivom modela pumpe (krive 7 (nq = 178.15) (označena na dijagramu crvenom linijom) dobijena očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*, i upoređena sa krivom (nq = 178.15) (označena plavom linijom) dobijenom iz *Univerzalne Jednačine Numeričkog modela (1)* i srednjom krivom (označena isprekidanom linijom), sa izračunatom tačnosti r^2 .

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalazi se i kompletan izvještaj *Numeričkog modela* (1) razvijenog u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 113 dijagrama, kao i četiri dijagrama na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijent-kapacitet za četiri koeficijenta (ukupno 452 vrijednosti koeficijenata iz 113 polinoma).

5.3.2 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog Numeričkog modela 1 u programu Matlab.

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina iz Numeričkog modela* (1) razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

 $S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + Delta$

gdje je:

 $\begin{aligned} \text{Delta} &= [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44] \end{aligned}$

(27)

Izgled cijele jednačine je:

```
S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44]
```

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

S1 = 4.1647e-06S2 = -0.0143S3 = 0.65123S4 = 134.38D11 = 1.152240401579844e-10D12 = -2.350410511146585e-08D13 = 1.127536808448127e-06 D14 = 7.848988667230641e-06D21 = -2.685245586732916e-08 D22 = 5.866201705190951e-06D23 = -3.085649107539301e-04D24 = -1.121218152265768e-03D31 = 1.194377849491371e-06 D32 = -2.847581321081099e-04 D33 = 5.430353735202084e-03D34 = 1.117915145110052e+00D41 = -3.358328521586719e-05D42 = 1.716333252770685e-02D43 = -5.466071852048950e-01 D44 = -4.455542050638825e+01

nq	r^2 Srednje	r^2 Final
12.32	0.29082	0.91854
20.53	0.34936	0.99446
31.11	0.42449	0.93131
41.07	0.54164	0.99576
54.76	0.62907	0.97641
110.35	0.58304	0.99543
178.15	0.33578	0.99995

5.3.3 Numerički model (2) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957)

U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama H (pad) – V (kapacitet) kroz sedam krivih za sedam modela pumpi (iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) [55]) provučena je matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi – polinom trećeg reda). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su ΔH rastojanja svake od sedam krivih sedam nq-ova pumpi do krive modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi – polinom trećeg reda, zatim su dobijene vrijednosti za ΔH za svaku od sedam krivih sedam nq-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku su izvršeni vertikalni presjeci krivih sedam nq-ova modela pumpi na opsegu V (kapacitet) (18% - 130%) sa korakom

(29)

jedan ukupno 113 presjeka, i u svakom od 113 presjeka na svakoj od sedam krivih nq-ova pumpi očitane vrijednosti za ΔH u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab, i nakon toga je dobijeno 113 dijagrama za svaki od navedenih presjeka sa kordinatama ΔH - ng i provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 113 polinoma. U četvrtom koraku su očitane vrijednosti za četiri koeficijenta koji figurišu u polinomima trećeg stepena (ukupno 113 polinoma i 452 vrijednosti koeficijenata) koji su provučeni između tačaka sa vrijednostima za ΔH - nq, za svaki od 113 dijagrama. Navedene vrijednosti za koeficijente (ukupno 452 vrijednosti koeficijenata) iz polinoma trećeg stepena (ukupno 113 polinoma) su izvezene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab u Exsel tabele i sortirane za svako od sedam nq-ova modela pumpi. U petom koraku posebno na četiri odvojena dijagrama sa kordinatama koeficijent - kapacitet (V), sortirane su vrijednosti za četiri koeficijenta (ukupno 452 vrijednosti koeficijenata) iz 113 polinoma trećeg reda, i kroz tačke sa vrijednostima koeficijent-kapacitet ova četiri koeficijenta (iz 113 polinoma trećeg stepena) provučene nove matematičke krive (polinom trećeg stepena). Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog numeričkom modelu u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (kriva modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi – polinom trećeg reda) i matematička jednačina (polinom trećeg reda) – *delta*, pri čemu se *delta* sastoji od matematičkih jednačina (polinomi trećeg stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za ΔH - ng za svaki od sedam ng-ova modela pumpi, i polinoma trećeg stepena za svaki od četiri koeficijenta koji figurišu u prethodno navedenim polinomima trećeg stepena za ΔH - nq. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantno je nq a u koeficijentima figuriše kapacitet. Takođe u razvijenom Numeričkom modelu (2) u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za ng i da se dobijene krive za nove ng-ove upoređuju sa krivima sedam modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuje vrijednosti za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u Numeričkom modelu (2) za izračunavanje tačnosti r^2 za svako novo ng provučeno kroz Univerzalnu Jednačinu.

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalaze se kodovi i dijagrami razvijenih *Numeričkih modela (1), (2), (3), (4)* na osnovu krivih modela pumpi za samo jedan kvadrant iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957) **[55]**, Pfleiderer, C. (1961) **[56]**.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramiraju *Numerički modeli (1), (2), (3), (4)* sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog Numeričkog modela (2) u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65 stim što u ovom dijelu ove doktorske disertacije biće prikazani dijagrami na Slikama 58 i 65, dok dijagrami sa Slikama 59, 60, 61, 62, 63, 64 biće prikazani u (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq. Ovaj zaključak se jasno vidi sa navedenih dijagrama dobijenih Numeričkim modelima (1) i (2), na kojima su korišćene različite referentne krive. Kod Numeričkog modela (1) kao referentna kriva korišćena je srednja kriva - polinom trećeg stepena koja je provučena između krivih 7 nq-ova modela pumpi, a kod Numeričkog modela (2) kao referentna kriva korišćena je matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi – polinom trećeg reda), a dobijene su iste vrijednosti za izračunate tačnosti r^2 za svih sedam nq-ova modela pumpi provučenih kroz Univerzalne Jednačine Numeričkih modela (1) i (2).



Slika 58. Dijagram sa sedam krivih za sedam modela pumpi (krive 1 (nq = 12.32), 2 (nq = 20.53), 3 (nq = 30.11), 4 (nq = 41.07), 5 (nq = 54.76), 6 (nq = 110.35), 7 (nq = 178.15)), dobijenih očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*, kroz koje je u *Numeričkom modelu (2)* provučena matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi – polinom trećeg reda).



Slika 65. Dijagram sa krivom modela pumpe (krive 7 (nq = 178.15) (označena na dijagramu crvenom linijom) dobijena očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*, i upoređena sa krivom (nq = 178.15) (označena plavom linijom) dobijenom iz Univerzalne Jednačine *Numeričkog modela* (2) i srednjom krivom (označena isprekidanom linijom), sa izračunatom tačnosti r^2 .

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj *Numeričkog modela* (2) razvijenog u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 113 dijagrama, kao i četiri dijagrama na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijent-kapacitet za četiri koeficijenta (ukupno 452 vrijednosti koeficijenata iz 113 polinoma).

5.3.4 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog Numeričkog modela 2 u programu Matlab.

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina iz Numeričkog modela* (2) razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

$$S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + Delta$$

gdje je:

 $\begin{array}{l} \text{Delta} = [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44] \end{array}$

Izgled cijele jednačine je:

 $S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44]$

(32)

(30)

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

S1 = -1.3495e-05S2 = -0.0011363S3 = 0.19106S4 = 105.53D11 = 1.152240401579844e-10D12 = -2.350410511146585e-08D13 = 1.127536808448128e-06 D14 = 7.848988667230583e-06D21 = -2.685245586732919e-08 D22 = 5.866201705190956e-06 D23 = -3.085649107539305e-04D24 = -1.121218152265748e-03D31 = 1.194377849491370e-06 D32 = -2.847581321081096e-04 D33 = 5.430353735202094e-03D34 = 1.117915145110050e+00D41 = -1.592358521586680e-05 D42 = 3.999632527706747e-03D43 = -8.643718520488865e-02D44 = -1.570542050638836e + 01

nq	r^2 Srednje	<i>r</i> ² Final
12.32	0.99992	0.91854
20.53	0.89818	0.99446
31.11	0.52335	0.93131
41.07	-0.28191	0.99576
54.76	-0.88393	0.97641
110.35	-1.2863	0.99543
178.15	-1.4048	0.99995

5.4 Nalaženje analitičke veze za krive poznate iz klasične literature – primjer Pfleiderer, C. (1961)

Na Slici 49, prikazan je dijagram sa 5 krivih modela pumpi navedenih u knjizi od autora Pfleiderer, C. (1961) **[56]**. Postupkom regresije je autor ove doktorske disertacije u programu Matlab razvio *Numerički model (3)* za dobijanje *Univerzalne Jednačine*, izvršena je aproksimacija određenog broja tačaka (sa određenim korakom) sa pet krivih za pet modela pumpi sa matematičkom krivom (polinomom trećeg stepena) postupkom regresije u programu Matlab. Zatim je autor ove doktorske disertacije razvio *Numerički model (4)* u programu Matlab za dobijanje Univerzalne Jednačine, izvršena je aproksimacija određenog broja tačaka (sa određenim korakom) sa pet krivih za pet modela sa najmanjim nq od 5 modela pumpi) postupkom regresije u programu Matlab.

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenih *Numeričkih modela* (3), (4) u programu Matlab.

5.4.1 Numerički model (3) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Pfleiderer, C. (1961)

U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama H (pad) – V (kapacitet) kroz pet krivih za pet modela pumpi (navedenih u knjizi od autora Pfleiderer, C. (1961) [56]) provučena je srednja matematička kriva (polinom trećeg stepena). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su ΔH rastojanja svake od pet krivih pet nq-ova pumpi do srednje krive, zatim su dobijene vrijednosti za ΔH za svaku od pet krivih pet nq-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku su izvršeni vertikalni presjeci krivih pet nq-ova modela pumpi na opsegu V (kapacitet) (18% - 132%) sa korakom jedan ukupno 115 presjeka, i u svakom od 115 presjeka na svakoj od pet krivih nq-ova pumpi očitane vrijednosti za ΔH u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab, i nakon toga je dobijeno 115 dijagrama za svaki od navedenih presjeka sa kordinatama ΔH - ng i provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 115 polinoma. U četvrtom koraku su očitane vrijednosti za sva četiri koeficijenta koji figurišu u polinomima trećeg stepena (ukupno 115 polinoma i 460 vrijednosti koeficijenata) koji su provučeni između tačaka sa vrijednostima za ΔH - ng, za svaki od 115 dijagrama. Navedene vrijednosti za koeficijente (ukupno 460 vrijednosti koeficijenata) iz polinoma trećeg stepena (ukupno 115 polinoma) su izvezene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab u Exsel tabele i sortirane za svako od pet nq-ova modela pumpi. U petom koraku posebno na četiri odvojena dijagrama sa kordinatama koeficijent-kapacitet (V), sortirane su vrijednosti za četiri koeficijenta (ukupno 460 vrijednosti koeficijenata) iz 115 polinoma trećeg reda, i kroz tačke sa vrijednostima koeficijent-kapacitet ova četiri koeficijenta (iz 115 polinoma trećeg stepena) provučene nove matematičke krive (polinom trećeg stepena). Nakon svega prethodno navedenog

iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) – srednje krive i matematičke jednačine (polinom trećeg reda) – delta, pri čemu se delta sastoji od matematičkih jednačina (polinomi trećeg stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za ΔH - nq za svaki od pet nqova modela pumpi, i polinoma trećeg stepena za svaki od četiri koeficijenta koji figurišu u prethodno navedenim polinomima trećeg stepena za ΔH - nq. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantno je nq a u koeficijentima figuriše kapacitet. Takođe u razvijenom Numeričkom modelu (3) u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za nq i da se dobijene krive za nove nq-ove upoređuju sa krivima pet modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuje vrijednosti za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u Numeričkom modelu (3) za izračunavanje tačnosti r^2 za svako novo nq provučeno kroz Univerzalnu Jednačinu.

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalaze se kodovi i dijagrami razvijenih *Numeričkih modela (1), (2), (3), (4)* na osnovu krivih modela pumpi za samo jedan kvadrant iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957) **[55]**, Pfleiderer, C. (1961) **[56]**.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramiraju *Numerički modeli (1), (2), (3), (4)* sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog *Numeričkog modela (3)* u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 66, 67, 68, 69, 70, 71 stim što u ovom dijelu doktorske disertacije biće prikazani dijagrami na Slikama 66 i 71, dok dijagrami sa Slikama 67, 68, 69, 70 biće prikazani u (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.



Slika 66. Dijagram sa pet krivih za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 110), f (nq = 220)) dobijenih očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Pfleiderer, C. (1961) – Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, kroz koje je u Numeričkom modelu (3) provučena srednja kriva polinom trećeg reda.



Slika 71. Dijagram sa krivom modela pumpe (krive f(nq = 220) (označena na dijagramu crvenom linijom) dobijena očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Pfleiderer, C. (1961) – Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, i upoređena sa krivom (nq = 220) (označena plavom linijom) dobijenom iz Univerzalne Jednačine Numeričkog modela (3) i srednjom krivom (označena isprekidanom linijom), sa izračunatom tačnosti r^2 .

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj *Numeričkog modela (3)* razvijenog u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 115 dijagrama, kao i četiri dijagrama na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijent-kapacitet za četiri koeficijenta (ukupno 460 vrijednosti koeficijenata iz 115 polinoma).

5.4.2 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog Numeričkog modela 3 u programu Matlab.

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina iz Numeričkog modela (3)* razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

$$S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + Delta$$
 (33)

gdje je:

```
 \begin{aligned} \text{Delta} &= [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44] \end{aligned}
```

Izgled cijele jednačine je:

```
S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44]
```

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

S1 = -1.4191e-06S2 = -0.007035S3 = 0.42745S4 = 127.07D11 = -2.013713444406816e-10D12 = 3.539321175344055e-08 D13 = -1.085653232779050e-06 D14 = -4.163802579209038e-05D21 = 7.053593478633479e-08 D22 = -1.202538422973426e-05D23 = 3.594658619358609e-04 D24 = 1.318380174050651e-02D31 = -7.075207262979497e-06 D32 = 1.193393407299983e-03 D33 = -4.538620428837082e-02D34 = -3.067516797505747e-01D41 = 1.374472442429443e-04D42 = -2.054235035047951e-02D43 = 9.296202103003769e-01 D44 = -2.281281800637267e+01

nq	r^2 Srednje	r^2 Final
21	0.54352	0.98804
34	0.65288	0.97993
71	0.94018	0.99501
110	0.45623	0.99801
220	0.32568	0.99835

5.4.3 Numerički model (4) razvijen postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Pfleiderer, C. (1961)

U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama H (pad) – V (kapacitet) kroz pet krivih za pet modela pumpi (navedenih u knjizi od autora Pfleiderer, C. (1961) **[56]**) provučena je matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 5 modela pumpi – polinom trećeg reda). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su ΔH rastojanja svake od pet krivih pet nq-ova pumpi do krive modela sa najmanjim nq od 5 modela pumpi – polinom trećeg reda, zatim su dobijene vrijednosti za ΔH za svaku od pet krivih pet nq-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku su izvršeni vertikalni presjeci krivih pet nq-ova modela pumpi na opsegu V (kapacitet) (18% - 132%) sa korakom jedan ukupno 115 presjeka, i u svakom od 115 presjeka na svakoj od pet krivih nq-ova

(35)

pumpi očitane vrijednosti za ΔH u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab, i nakon toga je dobijeno 115 dijagrama za svaki od navedenih presjeka sa kordinatama $\Delta H - nq$ i provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 115 polinoma. U četvrtom koraku su očitane vrijednosti za četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) koji figurišu u polinomima trećeg stepena (ukupno 115 polinoma i 460 vrijednsti koeficijenata) koji su provučeni između tačaka sa vrijednostima za ΔH - nq, za svaki od 115 dijagrama. Navedene vrijednosti za četiri koeficijenta (ukupno 460 vrijednosti koeficijenata) iz polinoma trećeg stepena (ukupno 115 polinoma) su izvezene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab u Exsel tabele i sortirane za svako od pet ng-ova modela pumpi. U petom koraku posebno na četiri odvojena dijagrama sa kordinatama koeficijent-kapacitet (V), sortirane su vrijednosti za četiri koeficijenta (ukupno 460 vrijednosti koeficijenata) iz 115 polinoma trećeg reda, i kroz tačke sa vrijednostima koeficijent-kapacitet ova četiri koeficijenta (iz 115 polinoma trećeg stepena) provučene nove matematičke krive (polinom trećeg stepena). Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) - srednje krive i matematičke jednačine (polinom trećeg reda) - delta, pri čemu se delta sastoji od matematičkih jednačina (polinomi trećeg stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za ΔH - ng za svaki od pet ng-ova modela pumpi, i polinoma trećeg stepena za svaki od četiri koeficijenta koji figurišu u prethodno navedenim polinomima trećeg stepena za ΔH - ng. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantno je nq a u koeficijentima figuriše V (kapacitet). Takođe u razvijenom Numeričkom modelu (4) u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za ng i da se dobijene krive za nove ng-ove upoređuju sa krivima pet modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuje vrijednost za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u Numeričkom modelu (4) za izračunavanje tačnosti r^2 za svako novo ng provučeno kroz Univerzalnu Jednačinu.

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalaze se kodovi i dijagrami razvijenih *Numeričkih modela (1), (2), (3), (4)* na osnovu krivih modela pumpi za samo jedan kvadrant iz klasične literature – primjer Stepanoff, A. J. (1957) **[55]**, Pfleiderer, C. (1961) **[56]**.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramiraju *Numerički modeli (1), (2), (3), (4)* sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog Numeričkog modela (4) u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 72, 73, 74, 75, 76, 77 stim što u ovom dijelu ove doktorske disertacije biće prikazani dijagrami na Slikama 72 i 77, dok dijagrami sa Slikama 73, 74, 75, 76 biće prikazani u (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq. Ovaj zaključak se jasno vidi sa navedenih dijagrama dobijenih Numeričkim modelima (3) i (4), na kojima su korišćene različite referentne krive. Kod Numeričkog modela (3) kao referentna kriva korištena je srednja kriva - polinom trećeg stepena koja je provučena između krivih 5 nq–ova modela pumpi, a kod Numeričkog modela (4) kao referentna kriva korištena je matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 5 modela pumpi – polinom trećeg reda), a dobijene su iste vrijednosti za izračunate tačnosti r^2 za svih od pet nq-ova modela pumpi provučenih kroz Univerzalnu Jednačinu Numeričkih modela (3) i (4).



Slika 72. Dijagram sa pet krivih za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 110), f (nq = 220)) dobijenih očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Pfleiderer, C. (1961) – *Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase*, kroz koje je u *Numeričkom modelu (4)* provučena matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 5 modela pumpi – polinom trećeg reda).



Slika 77. Dijagram sa krivom modela pumpe (krive f(nq = 220) (označena na dijagramu crvenom linijom) dobijena očitavanjem podataka sa originalnog dijagrama iz knjige Pfleiderer, C. (1961) – Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, i upoređena sa krivom (nq = 220) (označena plavom linijom) dobijenom iz Univerzalne Jednačine Numeričkog modela (4) i srednjom krivom (označena isprekidanom linijom), sa izračunatom tačnosti r^2 .

U (Prilogu – P4) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj *Numeričkog modela (4)* razvijenog u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta H - nq$, ukupno 115 dijagrama, kao i četiri dijagrama na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijent-kapacitet za četiri koeficijenata (*K1, K2, K3, K4*) (ukupno 460 vrijednosti koeficijenata iz 115 polinoma).

5.4.4 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog Numeričkog modela 4 u programu Matlab.

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena Uneiverzalna Jednačina iz *Numeričkog modela (4)* razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

 $S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + Delta$

gdje je:

 $\begin{aligned} \text{Delta} &= [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44] \end{aligned}$

Izgled cijele jednačine je:

 $S1*V^3 + S2*V^2 + S3*V + S4 + [D11*V^3 + D12*V^2 + D13*V + D14]*nq^3 + [D21*V^3 + D22*V^2 + D23*V + D24]*nq^2 + [D31*V^3 + D32*V^2 + D33*V + D34]*nq + [D41*V^3 + D42*V^2 + D43*V + D44]$

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

S1 = 3.6172e-06S2 = -0.0050125S3 = 0.42792S4 = 103.87D11 = -2.013713444406815e-10D12 = 3.539321175344054e-08D13 = -1.085653232779049e-06D14 = -4.163802579209038e-05D21 = 7.053593478633479e-08D22 = -1.202538422973426e-05D23 = 3.594658619358607e-04D24 = 1.318380174050651e-02D31 = -7.075207262979497e-06D32 = 1.193393407299983e-03 D33 = -4.538620428837080e-02D34 = -3.067516797505746e-01 D41 = 1.324109442429442e-04D42 = -2.256485035047949e-02D43 = 9.291502103003754e-01 D44 = 3.871819936273339e-01

(36)

(38)

nq	r^2 Srednje	r^2 Final
21	0.99975	0.98804
34	0.90427	0.97993
71	-1.4328	0.99501
110	-1.599	0.99801
220	-2.1951	0.99835

 Istraživanje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) u podacima za radne krive date u četiri kvadranta za za osam modela ((pumpi) iz klasične literature – primjer Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) – za *Wh* karakteristiku

6.1 Interpolacija (splajn)

Polinomi *n*-tog reda koriste se za interpoliciju između podataka n + 1 tačaka. Na primjer, za osam tačaka, savršeno je izvedeno polinomom sedmog reda. Ova kriva će snimiti sve srednje amplitude predloženih tačaka. Međutim, postoje slučajevi u kojima ove funkcije mogu dovesti do pogrešnih rezultata zbog zaokrugljivanja greške i preskoka. Alternativni pristup je da se primijene polinomi nižeg reda na podgrupe podataka. Takvo povezivanje polinoma zove se *Splajn funkcija*.

Na primjer, krive trećeg reda čije će funkcije da povežu podatke svakog para tačaka nazivaju se *Kubni splajnovi*. Ove funkcije mogu se konstruisati tako da veze između susjednih kubnih jednačina su vizuelno glatke. Na površini, čini se da je aproksimacija splajnom trećeg reda inferiorna.

Slika78, ilustruje situaciju gdje splajn izvršava bolje od polinoma višeg reda. Ovo je slučaj kada je generalno glatka funkcija ali prolazi naglih promjena negdje su duž regiona interesovanja. Povećanje koraka prikazano na Slika 78, je ekstreman primjer takve promjene i služi da ilustruje svrhu [54].

Slika 78 od *a* do *c*, ilustruje kako polinomi višeg reda imaju tendenciju da se njišu kroz divlje oscilacije u blizini naglih promjena. Nasuprot tome, splajn takođe povezuje tačke, ali zato što je ograničen na manji red promjena, oscilacije su svedene na minimum. Kao takav, splajn obično daje superiorno približavanje ponašanju funkcija koje imaju lokalne, nagle promjene.

Koncept splajn potiče od izrade nacrta korišćenja tehnike splajna korišćenjem tanke fleksibilne trake (zove se *Splajn*) i provlačenja glatke krive kroz niz tačaka. Proces je prikazan na Slika 79, za seriju od pet klinova (podaci tačaka) **[54]**. U ovoj tehnici, obrađivač površine je stavio papir preko drvene table i čekićem ukucao eksere ili klinove u papir (i drvenu tablu) na lokacije podataka tačaka. Glatka kubna kriva proizilazi iz preplitanja trake između klinova. Dakle, naziv "*kubni splajn*" usvojen je za polinome ovog tipa.

U ovom dijelu, jednostavne linearne funkcije će prvo biti korišćene za uvođenje nekih osnovnih pojmova i problema u vezi sa splajn interpolacijom. Onda dobijamo algoritam za fitovanje - uklapanje podataka kvadratnim splajnom. Konačno, predstavljamo materijal za kubni splajn, što je najčešće i korišćena verzija za inženjersku praksu.

Linearni splajn

Najjednostavnija veza između dvije tačke je prava linija. Splajnovi prvog reda za grupu podataka uređenih tačkama mogu se definisati kao skup linearnih funkcija **[54]**.



Slika 78. Vizuelni prikaz situacije u kojoj su splajnovi superiorniji u odnosu na interpolaciju polinomima višeg reda. Funkcija se uklopi - fituje prolazi kroz nagli porast u x = 0. Djelovi od (*a*) do (*c*) ukazuju na to da nagle promjene izazivaju oscilacije u interpolacijama polinoma.

Nasuprot tome, kriva ograničena na treći red sa glatkim prelazima, linearni splajn (*d*) obezbjeđuje mnogo prihvatljivije aproksimacije.

Gde je m_i nagib prave linije koja spaja tačke:

$$m_{i} = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i})}{x_{i+1} - x_{i}}$$
(40)

Ove jednačine se mogu koristiti za procjenu funkcije u bilo kojoj tački između x_0 i x_n prvo lociranje intervala u kojem tačka leži. Onda odgovarajuća jednačina se koristi za određivanje vrijednosti funkcije u intervalu. Metod je očigledno identičan linearnoj interpolaciji.



Slika 79. Izrada nacrta korišćenja tehnike splajna za crtanje glatke krive kroz niz tačaka. Obratite pažnju kako se, na krajnjim tačkama, splajn ispravlja. Ovo se zove "*priroda*" splajna.
Vizuelna inspekcija ukazuje da je primarni nedostatak splajnova prvog reda da oni nijesu glatki. U suštini, na mjestima tačaka gdje se dva splajna susreću (naziva se čvor), nagib se naglo izmijeni. U formalnom smislu, prvi izvod funkcije je nepovezan na tim mjestima. Ovaj nedostatak se prevaziđe korišćenjem polinomijalnog splajna višeg reda koji osigurava glatkoću na čvorovima sa izjednačenim izvodima u ovim tačkama, kao što je navedeno u sledećem odjeljku. U (Prilogu – P5) ove doktorske disertacije dato je objašnjenje vezano za kvadratni splajn.

Kubni splajn

U narednom dijelu teksta biće predstavljeni numerički modeli koji su razvijeni u ovoj doktorskoj disertaciji metodom kubni splajn u programu Matlab. Iz tog razloga se u ovom dijelu doktorske disertacije posvećuje se posebna pažnja objašnjenju metode kubni splajn.

Cilj kubnog splajna je izvod polinoma trećeg reda za svaki interval između čvorova [54], kao u

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i$$
(41)

Tako, za n + 1 podataka tačaka (i = 0, 1, 2, ..., n), nalazi se n intervala i shodno tome, 4n nepoznatih konstanti da se procijene. Kao i za kvadratni splajn, 4n uslova je potrebno za procjenu nepoznatih, i to su:

1. Vrijednosti funkcija moraju biti jednake na unutrašnjim čvorovima (2*n* - 2 uslova).

2. Prva i poslednja funkcija moraju da prođu kroz krajnje tačke (2 uslova).

- 3. Prvi izvodi na unutrašnjim čvorovima moraju biti jednaki (n 1 uslova).
- 4. Drugi izvodi na unutrašnjim čvorovima moraju biti jednaki (n 1 uslova).
- 5. Drugi izvodi na kraju čvorova su nula (2 uslova).

Vizuelno tumačenje stanja 5 je da je funkcija postaje prava linija na kraju čvorova. Specifikacija takvog krajnjeg stanja dovodi do onoga što se naziva "*priroda*" splajna. Ovo je ime dato zato što se u izradi nacrta splajna prirodno ponaša na ovaj način Slika 78. Ako je vrijednost drugog izvoda na kraju čvorova različita od nule (to jest, postoji neka krivina), ove informacije mogu se alternativno koristiti za obezbjeđivanje dva završna uslova.

Navedeni pet tipova uslova obezbjeđuju ukupno 4n jednačina potrebnih da riješe 4n koeficijenata. Budući da je svakako moguće razviti kubne splajnove na ovaj način, autor ove doktorske disertacije će predstaviti alternativnu tehniku koja zahtijeva rješenje samo n - 1 jednačina. Iako je izvođenje ove metode donekle manje jasno nego za kvadratne splajnove, dobitak u efikasnosti vrijedan je truda.

Prvi korak kod izvođenja (Cheney and Kincaid, 2008) je zasnovan na posmatranju jer svaki par čvorova je povezan kubnim splajnom, drugi izvod u okviru svakog intervala je prava linija. Jednačina (41) može da se diferencira dva puta da potvrdi ovo zapažanje. Na osnovu toga, drugi izvodi mogu biti predstavljeni Langražovim interpolacionim polinomom prvog reda [54]:

$$f_{i}^{"}(x) = f_{i}^{"}(x_{i-1})\frac{x - x_{i}}{x_{i-1} - x_{i}} + f_{i}^{"}(x_{i})\frac{x - x_{i-1}}{x_{i} - x_{i-1}}$$
(42)

109

gde je $f_i^{"}(x)$ vrijednost drugog izvoda u bilo kojoj tački x u okviru-tog intervala. Stoga, ova jednačina je ravna linija koja povezuje drugi izvod na prvom čvor $f^{"}(x_{i-1})$ sa drugim izvodom u drugom čvoru $f_i^{"}(x_i)$.

Slijedi, jednačina (42) može se integrisati dva puta dajući izraz za $f_i(x)$. Međutim, ovaj izraz će sadržati dvije nepoznate konstante integracije. Te konstante se mogu ocijeniti pozivanjem uslova jednakosti – funkcija - f(x) mora biti jednako $f(x_{i-1})$ u x_{i-1} i f(x) mora biti jednako $f(x_i)$ u x_i . Izvođenjem ove procjene, rezultat je sledeća kubna jednačina:

$$f_{i}\left(x\right) = \frac{f_{i}^{"}(x_{i})}{6(x_{i} - x_{i-1})} (x_{i} - x)^{3} + \frac{f_{i}^{"}(x_{i})}{6(x_{i} - x_{i-1})} (x - x_{i-1})^{3} + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i-1})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x_{i} - x) + \left[\frac{f(x_{i})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{i})(x_{i} - x_{i-1})}{6}\right] (x - x_{i-1}) + \left[\frac{f(x_{i-1})}{x_{i} - x_{i-1}} - \frac{f^{"}(x_{$$

Sada, taj odnos je mnogo više komplikovaniji izraz za kubni splajn za *i*-ti interval nego, recimo, jednačine (41). Međutim, primjećujemo da sadrži samo dva nepoznata "*koeficijenta*" drugi izvod na početku i na kraju intervala - $f''(x_{i-1})$ i $f''(x_i)$. Tako da, ako možemo odrediti odgovarajući drugi izvod na svakom čvor, jednačina (43) je polinom trećeg reda koji se može koristiti za interpolaciju u intervalu.

Ova jednačina sadrži samo dvije nepoznate - druge izvode na kraju svakog intervala. Ove nepoznate mogu se ocijeniti koristeći sledeću jednačinu:

$$(x_{i} - x_{i-1})f''(x_{i-1}) + 2(x_{i+1} - x_{i-1})f''(x_{i}) + (x_{i+1} - x_{i})f''(x_{i+1})$$

$$= \frac{6}{x_{i+1} - x_{i}}[f(x_{i+1}) - f(x_{i})] + \frac{6}{x_{i} - x_{i+1}}[f(x_{i+1}) - f(x_{i})]$$
(44)

Ako je ova jednačina napisana za sve unutrašnje čvorove, n - 1 simultanih jednačina rezultirat će sa n - 1 nepoznatih. Važno je zapamtiti, da drugi izvodi na kraju čvorova su nula.

6.2 Detalji postupak i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je prikupio veći broj Četvorokvadrantnih krivih za modele radijalnih pumpnih-turbina, i izvršio preračunavanje ovih Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive (ukupno 17 modela radijalnih pumpnih-turbina) i Suterove krive za *Wh* i *Wm* kakrakteristike za ovih 17 modela radijalnih pumpnih-turbina su prikazane na dijagramima na Slikama 80 i 81. Takođe tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je prikupio veći broj Suterovih krivih za modele pumpi, i Suterove krive za *Wh* i *Wm* kakrakteristike za 21 model pumpi su prikazane na dijagramima na Slikama 82 i 83.

Autor je radio na prikupljanju podataka, istraživanju i analizi Četvoro-kvadrantnih dijagrama za modele pumpnih-turbina i pumpi sa različitim specifičnim brojem obrtaja – nq. Autor tokom sedam godina izrade ove doktorske disertacije ukupno je sakupio 17 setova Četvoro-kvadrantnih karakteristika krivih za 17 modela radijalnih pumpnih-turbina (modeli su razvijeni u laboratorijama u Kini, Americi, Rusiji, Austriji), a veći dio modela pumpnih-turbina,

ukupno jedanest, je dobio od State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, P. R. China i Prof. Dr. Yongguang Cheng: nq = 17.53 $(otvor - 26.8^{\circ}) - Kina: nq = 20.73 (otvor - 24 mm) - Kina; nq = 24.34 (otvor - 24 mm) - Kina;$ nq = 24.8 (otvor - 26 mm) - U.S.A; nq = 26.24 (otvor - 17.5°) - Kina; nq = 27 (otvor - 24 mm) - Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) - U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) - Kina; nq = 35.89 (otvor - 33) mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor – 36 mm) - Austrija; nq = 41.9 (otvor -20°) – Kina; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 44.93 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 50 $(otvor - 20.03^{\circ}) - Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) - Kina; nq = 64.04 (otvor - 16 mm) - Rusija.$ Takođe tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je prikupio veći broj Suterovih krivih za modele pumpi, ukupno 21 set Četvoro-kvadrantnih karakteristika krivih za 21 model pumpi: *nq* = 15.7 **[5]**; *nq* = 20.5 **[7]**; *nq* = 22.1 **[5]**; *nq* = 25 **[2]**; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7]; nq = 41.8 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97[6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6]; nq = 100.56 [6]; nq = 123 [6]; nq = 131 [6]; nq = 134 [6]; nq = 147 [2]; nq = 170 [6]; nq = 261 [2], preuzete iz radova od Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980) [5]; Thorley, R.D, Chaudry, A. (1996) [6]; Kittredge, C.P. (1956) [7], i Donsky, B. (1961) [2].

Tokom izrade ove doktorske disertacije autor je sa četvorokvadrantnih dijagrama za sedamnest modela radijalnih pumpnih-turbina izvšio je očitavanje vrijednosti za sledeće karatkteristike, $N_{11} = \frac{ND_1}{\sqrt{H}}$ - jedinični broj obrtaja, $Q_{11} = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}}$ - jedinični protok,

 $M_{11} = \frac{M}{D_1^3 \sqrt{H}}$ - jedinični moment, sa Četvorokvadrantnih karakteristika krivih za razne otvore

lopatica sprovodnog aparata svakog od sedamnest modela radijalnih pumpnih-turbina. Zatim je autor izračunavao stepen korisnosti za sve Četvorokvadrantne krive za razne otvore lopatica sprovodnog aparata za sedamnest modela radijalnih pumpnih-turbina, i dolazio do optimalne tačke sa najvećim stepenom korisnosti za pumpni i turbinski režim za svaki od sedamnest modela radijalnih pumpnih- turbina, podatke za H_R , Q_R i M_R iz optimalnih tačaka za svih sedamnest modela pumpnih-turbina uzeo je autor iz pumpnog režima i koristio ih u daljem postupku preračunavanja podataka. Zatim je autor izračunavao vrijednosti za H, Q i M za svaku tačku na Četvorokvadrantnim krivim za svaki od otvora lopatica sprovodnog aparata na svih sedamnest modela radijlanih pumpnih-turbina, nakon ovog postupka autor je računao vrijednosti

za
$$h = \frac{H}{H_R}$$
 - relativni pad, $\beta = \frac{M}{M_R}$ - relativni moment, $\alpha = \frac{n}{n_R}$ - relativni broj obrtaja, $v = \frac{Q}{Q_R}$ -

relativni protok. Kompletan prethodni postupak koji je naveden odnosi se na preračunavanje Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive, na Suterovim dijagramima su prikazane krive karakteristike pada - $W_{h(\theta)} = \frac{h}{\alpha^2 + v^2}$ i karakteristike momenta - $W_{m(\theta)} = \frac{\beta}{\alpha^2 + v^2}$ izraženi u funkciji od ugala θ koji je definisan sa $\theta = arctg \frac{\alpha}{v}$.

Nakon što je autor preračunao Četvorokvadrantne krive u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za sedamnest modela radijalnih pumpnih-turbina, izdvojio je na dva odvojena dijagrama na Slikama 80 i 81, Suterove krive (*Wh* i *Wm* karakteristike) za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za sedamnest modela radijalnih pumpnih-turbina.

Pumpne Turbine - : nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; *nq* = 20.73 (otvor – 24 mm) – Kina; *nq* = 24.34 (otvor - 24 mm) – Kina; *nq* = 24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; *nq* = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; *nq* = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; *nq* = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; *nq* = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; *nq* = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; *nq* = 38 (otvor - 24°) – Kina; *nq* = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; *nq* = 41.9 (otvor - 20°) – Kina; *nq* = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija;

nq = 44.93 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 64.04 (otvor - 16 mm) – Rusija.

Takođe je autor izdvojio je na dva odvojena dijagrama na Slikama 82 i 83, Suterove krive (*Wh* i *Wm* karakteristike) za dvadesetjedan model pumpi.

Pumpe - nq = 15.7 **[5]**; nq = 20.5 **[7]**; nq = 22.1 **[5]**; nq = 25 **[2]**; nq = 25.5 **[5]**; nq = 28.8 **[5]**; nq = 30.3 **[5]**; nq = 37.4 **[7]**; nq = 41.8 **[6]**; nq = 64 [6]; nq = 71.97 **[6]**; nq = 76.21 **[6]**; nq = 85.21 **[5]**; nq = 96.85 **[6]**; nq = 100.56 **[6]**; nq = 123 **[6]**; nq = 131 **[6]**; nq = 134 **[6]**; nq = 147 **[2]**; nq = 170 **[6]**; nq = 261 **[2]**, preuzete iz radova od Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980) **[5]**; Thorley, R.D. Chaudry, A. (1996) **[6]**; Kittredge, C.P. (1956) **[7]**, i Donsky, B. (1961) **[2]**.

Interval od 0°do30° Interval od 30°do90° Interval od 90°do180° Interval od 180°do 250° Interval od270° do300° Interval od300°do360



Navedene vrijednosti uglova su okvirne vrijednosti, pošto svaka kriva ima svoju konkretnu vrijednost pri kojoj je ispunjen jedan od uslova +, - *Wh*; *Wh* = 0; +, - *Wm*; *Wm* = 0; +, - *Q*. Interval od 0° do 30° - Energetska disipacija +*T*, -*H*; Reverzibilni protok turbine -*T*, -*H*; Interval od 30° do 90° - Normalni pumpni režim +*T*, +*H*; Interval od 90° do 180° - Energetska disipacija +*T*, +*H*; Interval od 180° do 250° - Normalni turbinski režim +*T*, +*H*; Interval od 250° do 270° - Energetska disipacija -*T*, +*H*; Interval od 270° do 300° - Reverzibini pumpni režim -*T*, +*H*;

Interval od 300° do 360 - Energetska disipacija -*T*, -*H*;



Slika 80. Suterove krive *Wh* – Sedamnest modela radijalnih pumpnih turbina – (autor ove doktorske disertacije je lično prikupio izvorne podatke i izvršio preračunavanja).



Slika 81. Suterove krive *Wm* – Sedamnest modela radijalnih pumpnih turbina – (autor ove doktorske disertacije je lično prikupio izvorne podatke i izvršio preračunavanja).



Slika 82. Suterove krive *Wh* – Dvadest jedan model radijalnih, poluaksijalnih i aksijalnih pumpi – (Kitredge (1956); Donsky (1961); Brown & Rogers (1980); Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996)).



Slika 83. Suterove krive *Wm* – Dvadest jedan model radijalnih, poluaksijalnih i aksijalnih pumpi – (Kitredge (1956); Donsky (1961); Brown & Rogers (1980); Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996)).

U (Prilogu – P6) ove doktorske disertacije dostavljena je Excel tabela sa svim podacima za Wh i Wm karakteristiku, za sedamnest modela Pumpnih turbina i dvadest jedan model Pumpi.

U narednom dijelu teksta biće prikazani rezultati razvijenih numeričkih modela postupkom regresije (Varijanta 1, Varijanta 2, Varijanta 3) za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi (koje su razvijeni u prve četiri godine izrade ove doktorske disertacije). Prikazani su rezultati nalaženje analitičke veze postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) [5], primjer (Numerički model 1 – nq-ovi modela) – Varijanta 4. Nalaženje analitičke veze postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) [5], primjer (Numerički model 2 – novi ng-ovi) – Varijanta 5. Rezultati razvijenih numeričkih modela postupkom splajn (Varijanta 4, Varijanta 5) za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi, autor je razvio ove numeričke modele tokom prve četiri godine izrade ove doktorske disertacije.

6.3 Primjeri

6.3.1 Nalaženje analitičke veze postupkom regresije za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) (Varijanta 1)

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenog numeričkog modela za Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3) u programu Matlab. U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama $Wh - \theta$ (ugao teta) kroz osam krivih za osam modela pumpi (nq = 25(24.3) [2]; nq= 41.81 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6], 100.56 [6]) iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) [5], provučena je srednja matematička kriva (polinom trećeg stepena). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su ΔWh rastojanja svake od osam krivih osam nq-ova pumpi do srednje krive, zatim su dobijene vrijednosti za ΔWh za svaku od osam krivih osam ng-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku na dijagramu sa kordinatama $\Delta Wh - \theta$, unesene su vrijednosti očitanih ΔWh rastojanja za svaku od osam krivih osam ng-ova pumpi do srednje krive, i posebno kroz tačke (sa kordinatama $\Delta Wh - \theta$,) svih osam nq – ova pumpi provučeni polinomi sedmog stepena. U četvrtom koraku, pošto prethodno navedeni polinom sedmog stepena ima osam koeficijenata (K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8), za svaki od navedenih osam koeficijenata posebno su grupisane vrijednosti (iz osam prethodno navedenih polinoma sedmog stepana provučenih kroz tačke krivih osam nq-ova pumpi) na osam dijagrama sa kordinatama koeficijenata (K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8) i nq. Zatim su na osam dijagrama kroz tačke sa kordinatama koeficijenata (K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8) i nq, provučeni polinomi trećeg stepena, i dobijaju se matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) za koeficijente (K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8) u kojima dominira ng, a zatim se navedene matematičke jednačine za koeficijente uvrste u prethodno navedenu jednačinu polinom sedmog stepena u kojoj dominira ugao θ . Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog numeričkog modela za Pumpe - Varijanta 1(Polinomi 3, 7, 3) u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) - srednje krive i matematičke jednačine (polinom sedmog reda) - delta, pri čemu se delta sastoji od 115

matematičkih jednačina (polinomi sedmog stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za $\Delta Wh - \theta$ za svaki od osam nq-ova modela pumpi, i polinoma trećeg stepena za svaki od osam koeficijenata koji figurišu u prethodno navedenim polinomima sedmog stepena za $\Delta Wh - \theta$. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantan je ugao - θ a u koeficijentima figuriše - nq. Takođe u razvijenom numeričkog modelu za *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za nq i da se dobijene krive za nove nq-ove upoređuju sa krivima osam modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuju vrijednosti za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u numeričkom modelu za izračunavanje tačnosti r^2 za svako novo nq provučeno kroz Univerzalnu Jednačinu.

U (Prilogu – P7) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* na osnovu krivih modela pumpi za četiri kvadranta iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980).

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 84, 85, 86. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.



Slika 84. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku za osam modela pumpi *nq* (24.3 (25); 41.81; 64; 71.97; 76.21; 85.21; 96.85; 100.56) i osam Suterovih krivih za osam *nq* pumpi (24.34 J; 41.81 J; 64 J; 71.97 J; 76.21 J; 85.21 J; 96.85 J; 100.56 J) dobijenih iz
Univerzalne Jednačine iz razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* u programu Matlab.



Slika 85. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku za osam modela pumpi *nq* (24.3 (25); 41.81; 64; 71.97; 76.21; 85.21; 96.85; 100.56) iz radova Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996) ; Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980).



Slika 86. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku za osam *nq* pumpi (24.3 (25) J; 41.81 J; 64 J; 71.97 J; 76.21 J; 85.21 J; 96.85 J; 100.56 J) dobijenih iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* u programu Matlab.

U (Prilogu – P7) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3)* u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijenti – nq, ukupno 8 dijagrama, kao i osam dijagrama na kojima su prikazane uporedne Suterove krive modela i Suterove krive dobijene iz *Univerzalne Jednačine* razvijenog numeričkog modela za svako od osam nq-ova pumpi, sa prikazanom izračunatom tačnosti r^2 za svako novo nq provučeno kroz *Univerzalnu Jednačinu*.

6.3.1.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za Wh karakteristiku od nq iz razvijenog numeričkog modela Varijante 1

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku iz numeričkog modela Varijanta 1 (Polinomi 3, 7, 3) razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

$$Wh = S1^{Theta} + S2^{Theta} + S3^{Theta} + S4 + Delta$$

$$(45)$$

gdje je:

 $\begin{aligned} \text{Delta} &= [D11*nq^3 + D12*nq^2 + D13*nq + D14]*\text{Theta}^7 + [D21*nq^3 + D22*nq^2 + D23*nq + D24]*\text{Theta}^6 + [D31*nq^3 + D32*nq^2 + D33*nq + D34]*\text{Theta}^5 + [D41*nq^3 + D42*nq^2 + D43*nq + D44]*\text{Theta}^4 + [D51*nq^3 + D52*nq^2 + D53*nq + D54]*\text{Theta}^3 + [D61*nq^3 + D62*nq^2 + D63*nq + D64]*\text{Theta}^2 + [D71*nq^3 + D72*nq^2 + D73*nq + D74]*\text{Theta} + [D81*nq^3 + D82*nq^2 + D83*nq + D84] \end{aligned}$

Izgled cijele jednačine je:

 $S1*Theta^3 + S2*Theta^2 + S3*Theta + S4 + [D11*nq^3 + D12*nq^2 + D13*nq + D14]*Theta^7 + [D21*nq^3 + D22*nq^2 + D23*nq + D24]*Theta^6 + [D31*nq^3 + D32*nq^2 + D33*nq + D34]*Theta^5 + [D41*nq^3 + D42*nq^2 + D43*nq + D44]*Theta^4 + [D51*nq^3 + D52*nq^2 + D53*nq + D54]*Theta^3 + [D61*nq^3 + D62*nq^2 + D63*nq + D64]*Theta^2 + [D71*nq^3 + D72*nq^2 + D73*nq + D74]*Theta + [D81*nq^3 + D82*nq^2 + D83*nq + D84]$

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

Koeficijenti uz *nq* kod Theta⁷

D11 = 1.530849137969390e-20

D12 = -2.771176689604099e-18

D13 = 1.290630991270699e-16

D14 = -1.42524742444849e-15

Koeficijenti uz nq kod Theta^6

D21 = -1.705067367094107e-17

D22 = 3.032447740773818e-15

D23 = -1.364410682442183e-13

D24 = 1.612303787440973e-12

Koeficijenti uz nq kod Theta^5

D31 = 7.192007252413022e-15

D32 = -1.247754127538064e-12

D33 = 5.312675183389936e-11

D34 = -6.881821290898882e-10

Koeficijenti uz nq kod Theta⁴

D41 = -1.375308090829047e-12

D42 = 2.286616730920034e-10

D43 = -8.613148572882217e-09

D44 = 1.266400702527691e-07

Koeficijenti uz nq kod Theta^3

D51 = 9.983254038838834e-11

D52 = -1.452063575714959e-08

D53 = 2.645113981296015e-07

D54 = -5.776722087422960e-06

Koeficijenti uz nq kod Theta^2

- D61 = 1.315176177471591e-09
- D62 = -5.323605087106634e-07

D63 = 6.523386377534332e-05

D64 = -8.534726505645378e-04

Koeficijenti uz nq kod Theta^1

D71 = -2.631172842686495e-07

D72 = 5.792157067898966e-05

D73 = -4.139460107524464e-03

D74 = 6.067647748273655e-02

Koeficijenti uz nq (slobodni član - bez Theta)

D81 = 3.854273222752179e-06

D82 = -8.665805602579343e-04

D83 = 5.420164455491117e-02

D84 = -7.289113716699526e-01

6.3.2 Nalaženje analitičke veze postupkom regresije za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) (Varijanta 2)

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenog numeričkog modela za Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7) u programu Matlab. U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama Wh – θ (ugao teta) kroz osam krivih za osam modela pumpi (nq = 24.3 (25) [2]; nq = 41.81 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6], nq = 10.00100.56 [6], iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) [5]) provučena je srednja matematička kriva (polinom trećeg stepena). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su *∆Wh* rastojanja svake od osam krivih osam nq-ova pumpi do srednje krive, zatim su dobijene vrijednosti za ΔWh za svaku od osam krivih osam ng-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku su izvršeni vertikalni presjeci krivih osam ngova modela pumpi na opsegu θ (teta) (0⁰ - 360⁰) sa korakom 5⁰ ukupno 73 presjeka, i u svakom od 73 presjeka na svakoj od osam krivih nq-ova pumpi očitane vrijednosti za ΔWh u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab, i nakon toga je dobijeno 73 dijagrama za svaki od navedenih presjeka sa kordinatama $\Delta Wh - nq$ i provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta Wh - nq$, ukupno 73 polinoma. U četvrtom koraku su očitane vrijednosti za četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) koji figurišu u polinomima trećeg stepena (ukupno 73 polinoma i 292 vrijednosti koeficijenata) koji su provučeni između tačaka sa vrijednostima za $\Delta Wh - nq$, za svaki od 73 dijagrama. Navedene vrijednosti za koeficijente (K1, K2, K3, K4 - ukupno 292 vrijednosti koeficijenata) iz polinoma trećeg stepena (ukupno 73 polinoma) su izvezene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab u Exsel tabele i sortirane za svako od osam nq-ova modela pumpi. U petom koraku posebno na četiri odvojena dijagrama sa kordinatama koeficijent – θ (teta), sortirane su vrijednosti za četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4 - ukupno 452 vrijednosti koeficijenata) iz 73 polinoma trećeg reda, i kroz tačke sa vrijednostima koeficijent - θ ova četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4 iz 73 polinomas trećeg stepena) provučene nove matematičke krive (polinom sedmog stepena). Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog numeričkom modela u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) – srednje krive i matematičke jednačine (polinom trećeg reda) – *delta*, pri čemu se *delta* sastoji od matematičkih jednačina (polinomi trećeg stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za ΔWh - nq za svaki od osam nq-ova modela pumpi, i polinoma sedmog stepena za svaki od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) koji figurišu u prethodno navedenim polinomima trećeg stepena za ΔWh - nq. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantno je nq a u koeficijentima figuriše θ (teta). Takođe u razvijenom numeričkom modelu za *Pumpe* - *Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za nq i da se dobijene krive za nove nq-ove upoređuju sa krivima osam modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuju vrijednosti za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u numeričkom modelu za izračunavanje tačnosti r^2

U (Prilogu – P7) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela *Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* na osnovu krivih modela pumpi za četiri kvadranta iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980).

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za *Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 87, 88, 89. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.



Slika 87. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristike za osam modela pumpi *nq* (24.3 (25); 41.81; 64; 71.97; 76.21; 85.21; 96.85; 100.56) i osam Suterovih krivih za osam *nq* pumpi (24.3 (25) J; 41.81 J; 64 J; 71.97 J; 76.21 J; 85.21 J; 96.85 J; 100.56 J) dobijenih iz
Univerzalne Jednačine iz razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* u programu Matlab.



Slika 88. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristike za osam modela pumpi *nq* (24.3 (25); 41.81; 64; 71.97; 76.21; 85.21; 96.85; 100.56) iz radova - Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980).



Slika 89. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristike za osam *nq* pumpi (24.3 (25) J; 41.81 J; 64 J; 71.97 J; 76.21 J; 85.21 J; 96.85 J; 100.56 J) dobijenih iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* u programu Matlab.

U (Prilogu – P7) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7)* u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima $\Delta Wh - nq$.

6.3.2.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za Wh karakteristike od nq iz razvijenog numeričkog modela Varijante 2

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena Univerzalna Jednačina za Wh karakteristike iz numeričkog modela Pumpe - Varijanta 2 (Polinomi 3, 3, 7) razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

```
Wh = S1^{Theta^{3}} + S2^{Theta^{2}} + S3^{Theta} + S4 + Delta 
(48)
```

gdje je:

```
S1*Theta^3 + S2*Theta^2 + S3*Theta + S4 + [D11*Theta^7 + D12*Theta^6 + D13*Theta^5 + D14*Theta^4 + D15*Theta^3 + D16*Theta^2 + D17*Theta + D18]*nq^3 + [D21*Theta^7 + D22*Theta^6 + D23*Theta^5 + D24*Theta^4 + D25*Theta^3 + D26*Theta^2 + D27*Theta + D28]*nq^2 + [D31*Theta^7 + D32*Theta^6 + D33*Theta^5 + D34*Theta^4 + D35*Theta^3 + D36*Theta^2 + D37*Theta + D38]*nq + [D41*Theta^7 + D42*Theta^6 + D43*Theta^5 + D44*Theta^4 + D45*Theta^3 + D46*Theta^2 + D47*Theta + D48 (50)
```

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

S1 = 2.672e-07 S2 = -0.0002149 S3 = 0.04235S4 = -1.034

Koeficijenti uz Theta kod nq^A3 D11 = 1.530849137969390e-20D12 = -1.705067367094108e-17D13 = 7.192007252413023e-15D14 = -1.375308090829047e-12D15 = 9.983254038838837e-11D16 = 1.315176177471587e-09D17 = -2.631172842686496e-07D18 = 3.854273222752180e-06

Koeficijenti uz Theta kod nq² D21 = -2.771176689604102e-18 D22 = 3.032447740773822e-15

```
D23 = -1.247754127538065e-12
D24 = 2.286616730920035e-10
D25 = -1.452063575714960e-08
D26 = -5.323605087106624e-07
D27 = 5.792157067898967e-05
D28 = -8.665805602579344e-04
```

Koeficijenti uz Theta (slobodni član - bez nq-a)

 $\begin{array}{l} D41 = -1.42524742444852e-15\\ D42 = 1.612303787440976e-12\\ D43 = -6.881821290898892e-10\\ D44 = 1.266400702527693e-07\\ D45 = -5.776722087422983e-06\\ D46 = -8.534726505645368e-04\\ D47 = 6.067647748273657e-02\\ D48 = -7.289113716699526e-01 \end{array}$

6.3.3 Nalaženje analitičke veze postupkom regresije za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) (Varijanta 3)

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenog numeričkog modela za Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3) u programu Matlab. U prvom koraku u dijagramu sa kordinatama $Wh - \theta$ (ugao teta) kroz osam krivih za osam modela pumpi (nq = 24.3 (25) [2]; nq = 41.81 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6], nq = 10.00100.56 [6], iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) [5]) provučena je srednja matematička kriva (polinom trećeg stepena). U drugom koraku u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab očitana su *AWh* rastojanja svake od osam krivih osam nq-ova pumpi do srednje krive, zatim su dobijene vrijednosti za ΔWh za svaku od osam krivih osam ng-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku na dijagramu sa kordinatama $\Delta Wh - \theta$, unesene su vrijednosti očitanih ΔWh rastojanja za svaku od osam krivih osam ng-ova pumpi do srednje krive, i kroz tačke sa vrijednostima $\Delta Wh - \theta$ za svih osam modela pumpi ponovo provučena srednja kriva polinom sedmog reda (kod Varijante 3 izvršeno je dva puta osrednjavanje, prvo polinomom trećeg reda pa polinomom sedmog reda, a kod Varijante 1 izvršeno je jedan put osrednjavanje polinomom trećeg reda, i po tome se ove dvije varijante 124 razlikuju, a sve u cilju dobijanja bolje konačnog rezultata). U četvrtom koraku na dijagramu sa kordinatama $\Delta Wh_1 - \theta$, unesene su vrijednosti očitanih ΔWh_1 rastojanja za svaku od osam krivih osam ng-ova pumpi do srednje krive, i posebno kroz tačke (sa kordinatama $\Delta Wh_1 - \theta$) svih osam nq – ova pumpi provučeni polinomi trećeg stepena. U petom koraku, pošto prethodno navedeni polinomi trećeg stepena imaju po četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4), za svaki od navedenih četiri koeficijenta posebno su grupisane vrijednosti (iz osam prethodno navedenih polinoma trećeg stepena provučenih kroz tačke krivih osam nq-ova pumpi) na četiri dijagrama sa kordinatama koeficijenata (K1, K2, K3, K4) i nq. Zatim su na četiri dijagrama kroz tačke sa kordinatama koeficijenata (K1, K2, K3, K4) i nq, provučeni polinomi trećeg stepena, i dobijaju se matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) za koeficijente (K1, K2, K3, K4) u kojima dominira nq, a zatim se navedene matematičke jednačine za koeficijente uvrste u prethodno navedenu jednačinu polinoma trećeg stepena u kojoj dominira ugao θ . Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog numeričkog modela za Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3) u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od zbira matematičke jednačine (polinom trećeg stepena) - srednje krive plus matematička jednačina srednje krive $\Delta Wh - \theta$ (polinom sedmog reda) i plus matematička jednačina (polinom trećeg reda) – delta, pri čemu se *delta* sastoji od matematičkih jednačina (polinomi trećeg stepena) provučeni kroz tačke sa vrijednostima za $\Delta Wh_1 - \theta$ za svaki od osam nq-ova modela pumpi, i polinoma trećeg stepena za svaki od od četiri koeficijenta koji figurišu u prethodno navedenim polinomima trećeg stepena za $\Delta Wh_1 - \theta$. U ovoj Univerzalnoj Jednačini dominantan je ugao - θ a u koeficijentima figuriše ng. Takođe u razvijenom numeričkog modelu za Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3) u programu Matlab isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju nove vrijednosti za nq i da se dobijene krive za nove nq-ove upoređuju sa krivima osam modela pumpi pri čemu se na uporednim dijagramima ovih krivih prikazuju vrijednosti za tačnost r^2 , što je omogućeno dijelom koji je isprogramiran u numeričkom modelu za izračunavanje tačnosti r^2 za svako novo nq provučeno kroz Univerzalnu Jednačinu.

U (Prilogu – P7) ove doktroske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela *Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3)* na osnovu krivih modela pumpi za četiri kvadranta iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980).

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za *Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3)* sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3)* u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 90, 91, 92. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.



Slika 90. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristike za osam modela pumpi *nq* (24.3; 41.81; 64; 71.97; 76.21; 85.21; 96.85; 100.56) i osam Suterovih krivih za osam *nq* pumpi (24.34 J; 41.81 J; 64.04 J; 71.97 J; 76.21 J; 85.21 J; 96.85 J; 100.56 J) dobijenih iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3,3)* u programu Matlab.



Slika 91. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristike za osam modela pumpi *nq* (24.3 (25); 41.81; 64; 71.97; 76.21; 85.21; 96.85; 100.56) iz radova Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980).



Slika 92. Dijagram sa osam Suterovih krivih za *Wh* karakteristike za osam *nq* pumpi (24.3 (25) J; 41.81 J; 64 J; 71.97 J; 76.21 J; 85.21 J; 96.85 J; 100.56 J) dobijenih iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3,3)* u programu Matlab.

U (Prilogu – P7) ove doktroske disertacije nalazi se kompletan izvještaj razvijenog numeričkog modela za *Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3)* u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijenti – nq, ukupno 4 dijagrama, kao i osam dijagrama na kojima su prikazane uporedne Suterove krive modela i Suterove krive dobijene iz *Univerzalne Jednačine* razvijenog numeričkog modela za svako od osam nq-ova pumpi, sa prikazanom izračunatom tačnosti r^2 za svako novo nq provučeno kroz *Univerzalnu Jednačinu*.

6.3.3.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za Wh karakteristike od nq iz razvijenog numeričkog modela Varijante 3

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena Univerzalna Jednačina za Wh karakteristike iz numeričkog modela Pumpe - Varijanta 3 (Polinomi 3, 7, 3, 3) razvijenog u programu Matlab.

Jednačina ima izgled:

$$Wh = S1*Theta^3 + S2*Theta^2 + S3*Theta + S4 + SrednjaDelta1 + Delta2$$
(51)

gdje je:

 $Srednja Delta1 = R1*Theta^7 + R2*Theta^6 + R3*Theta^5 + R4*Theta^4 + R5*Theta^3 + R6*Theta^2 + R7*Theta + R8$ (52)

 $Delta2 = [D11*nq^3 + D12*nq^2 + D13*nq + D14]*Theta^3 + [D21*nq^3 + D22*nq^2 + D23*nq + D24]*Theta^2 + [D31*nq^3 + D32*nq^2 + D33*nq + D34]*Theta + [D41*nq^3 + D42*nq^2 + D43*nq + D44]$ (53)

127

Izgled cijele jednačine je:

 $S1*Theta^3 + S2*Theta^2 + S3*Theta + S4 + R1*Theta^7 + R2*Theta^6 + R3*Theta^5 + R4*Theta^4 + R5*Theta^3 + R6*Theta^2 + R7*Theta + R8 + [D11*nq^3 + D12*nq^2 + D13*nq + D14]*Theta^3 + [D21*nq^3 + D22*nq^2 + D23*nq + D24]*Theta^2 + [D31*nq^3 + D32*nq^2 + D33*nq + D34]*Theta + [D41*nq^3 + D42*nq^2 + D43*nq + D44]$ (54)

Gdje koeficijenti navedeni u jednačini imaju sledeće vrijednosti:

$$S1 = 2.672e-07$$

$$S2 = -0.0002149$$

$$S3 = 0.04235$$

$$S4 = -1.034$$

$$R1 = -5.8096e-16$$

$$R2 = 8.8574e-13$$

$$R3 = -5.189e-10$$

$$R4 = 1.4778e-07$$

$$R5 = -2.113e-05$$

$$R6 = 0.0013907$$

$$R7 = -0.031716$$

$$R8 = 0.073191$$

Koeficijenti uz nq kod Theta³

 $D11 = 1.629359535885248e{-}12$

D12 = -2.803660970058502e-10

D13 = 1.793130915805552e-08

D14 = -4.645390726572304e-07

Koeficijenti uz nq kod Theta^2

D21 = -1.384210388805898e-09

D22 = 2.449978334360559e-07

D23 = -1.509785764938595e-05

D24 = 3.475030899957882e-04

Koeficijenti uz nq kod Theta^1

D31 = 2.758125122552418e-07

D32 = -4.930019447470335e-05

D33 = 2.962220748081227e-03

D34 = -6.334125770824141e-02

Koeficijenti uz nq (slobodni član - bez Theta)

D41 = -5.688326376061858e-06D42 = 9.416119139671538e-04D43 = -5.610248750750296e-02D44 = 1.371459845563191e+00

6.3.4 Nalaženje analitičke veze postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive Wh

karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) (Numerički model 1 – nq-ovi modela) – Varijanta 4

U prethodnim poglavljima ove doktorske disertacije data su objašnjenja vezano za postupak - Splajn interpolacija (Linearni splajn, Kubni splajn). U narednom dijelu teksta biće prikazani rezultati razvijenih numeričkih modela u programu Matlab postupkom Kubni splajn (*Numerički model 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela*)), *Numerički model 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi*)), za osam modela pumpi (nq = 24.3 (25) [2]; nq = 41.81 [6]; nq = 64 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6], nq = 100.56 [6])

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab, kod ovog numeričkog modela za dobijanje jednačine Univerzalne Suterove Krive autor ove doktorske disertacije je koristio Kubni splajn iz programa Matlab. U prvom koraku se kroz svaku od osam krivih za osam modela pumpi $(nq = 24.3 \ (25) \ [2]; nq = 41.81 \ [6]; nq = 64 \ [6]; nq = 71.97 \ [6]; nq = 76.21 \ [6];$ 85.21 [5]; nq = 96.85 [6], nq = 100.56 [6], iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) [5]) provučeno ukupno 72 Kubna splaina, pošto je opseg svake od ovih osam krivih od 0° do 360°, i ovaj opseg je podijeljen na 72 dionice sa korakom 5°, i kroz svaku od ovih dionica krivih provučen je Kubni splajn. U drugom koraku u razvijenom Numeričkom modelu 1 u programu Matlab očitane su vrijednosti koeficijenata (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi (ukupno 288 vrijednosti koeficijenata za jednu krivu, a ukupno 2.304 vrijednosti koeficijenata za osam krivih) a zatim su dobijene vrijednosti za koeficijente za svaku od osam krivih osam nq-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku na 288 dijagrama sa kordinatama koeficijenti -nq (288 koeficijenata, 8 nq-ova), unesene su vrijednosti očitanih koeficijenata iz razvijenog Numeričkog modela 1 u programu Matlab (ukupno 2.304 vrijednosti koeficijenata za osam krivih modela pumpi), imamo 288 dijagrama iz razloga što je opseg svake od ovih osam krivih od 0° do 360°, i ovaj opseg je podijeljen na 72 dionice sa korakom 5°, i na svakoj od ovih dionica je provučen kubni splajn koji ima četiri koeficijenta, pa kada se grupišu vrijednosti za svaki od ova četiri koeficijenta za svaku od ovih 72 dionice za osam krivih modela pumpi, dobije se 288 dijagrama. U četvrtom koraku na svakom od 288 dijagrama sa kordinatama (koeficijenti -nq) kroz tačke koje se nalaze na ovim dijagramima provlače se polinomi trećeg reda u kojima je dominantno ng. A zatim se ubacuju vrijednsoti za osam nq-ova modela pumpi u navedene matematičke jednačine za koeficijente u razvijenom Numeričkom modelu 1 u program Matlab i izračunavaju se vrijednosti za 2.304 koeficijenata koji se zatim uvrste u prethodno navedene jednačine Kubnih splajnova za svaku od 72 dionice na osam krivih modela pumpi u kojim dominira ugao θ , i nakon toga se vrši provjera sa kojom tačnošću se dobijaju vrijednosti krivih za osam ng-ova modela pumpi dobijenih iz Univerzalne Jednačine i upoređuju se ove krive sa krivima osam nq -ova modela pumpi (dobijenih na laboratorijskim mjerenjima), i vidimo koliko se dobri rezultati dobijaju i sa kolikom se tačnošću poklapaju ove krive a što je i prikazano na narednim dijagramima. Takođe će biti priložena četiri dijagrama na kojima će biti prikazane vrijednosti za četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i što je veoma važno vidjeće se karakter ovih ovih koeficijenata u zavisnosti od ng. Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji matematičkih jednačina – Kubnih splajnova na svakoj od 72 dionice svake od osam krivih nq-ova modela pumpi u kojima dominira ugao θ , i polinoma trećeg stepena za svaki od 288 koeficijenata (koji figurušu u 72 Kubna splajna) u kojima dominira nq. Takođe u razvijenom Numeričkom modelu 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju vrijednosti za nq-ove osam modela pumpi i da se dobijene krive za nq-ove modela pumpi upoređuju sa krivima osam nq-ova modela pumpi (dobijenih na mjerenjima u laboratoriji) što se može vidjeti na narednim dijagramima.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi opciju Kubni splajn, i jako je važno što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira Numerički model 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela))* u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri, i da ohrabruju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim *nq*, i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od *nq*.



Slika 93. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 24.3 (25), nq = 41.81, i jedna kriva za nq = 24.3 (25) dobijena iz Universalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.



Slika 94. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 41.81, nq = 64 i jedna kriva za nq = 41.81 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela) u programu Matlab.



Slika 95. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 64, nq = 71.97 i jedna kriva za nq = 64 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.



Slika 96. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 71.97, nq = 85.21 i jedna kriva za nq = 71.97 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.



Slika 97. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 76.21, nq = 85.21 i jedna kriva za nq = 76.21 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.



Slika 98. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 85.21, nq = 96.85 i jedna kriva za nq = 85.21 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.



Slika 99. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 96.85, nq = 100.56 i jedna kriva za nq = 96.85 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.



Slika 100. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, *iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)*), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 96.85, nq = 100.56 i jedna kriva za nq = 100.56 dobijena iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela))* u programu Matlab.



Slika 101. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K1 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K1 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela))* u programu Matlab.



Slika 102. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K2 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K2 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela))* u programu Matlab.



Slika 103. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K3 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K3 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela))* u programu Matlab.



Slika 104. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K4 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K4 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela))* u programu Matlab.

U (Prilogu – 8) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj razvijenog *Numeričkog modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela) – Varijanta 4* u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijenti – nq.

6.3.4.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za Wh karakteristike od nq iz razvijenog numeričkog modela 1 – Varijnata 4

U narednom dijelu teksta prikazana je *dobijena Uneverzalna Jednačina iz Numeričkog* modela 1 (Pumpe - Kubni splajn (nq-ovi modela)) u programu Matlab.

Konačna jednačina je:

$WH = K1*ThetaT^3 + K2*ThetaT^2 + K3*ThetaT + K4$	(55)
gdje je: ThetaT = ThetaN - ThetaOld	(56)
$K1 = p11*nqNew^3 + p12*nqNew^2 + p13*nqNew + p14$	(57)
$K2 = p21*nqNew^3 + p22*nqNew^2 + p23*nqNew + p24$	(58)
$K3 = p31*nqNew^3 + p32*nqNew^2 + p33*nqNew + p34$	(59)
K4 = p41*nqNew^3 + p42*nqNew^2 + p43*nqNew + p44 Tabela koeficijenata:	(60)

| K1 | K2 | K3 | K4 | Opseg Theta | p11 | p12 | p13 | p14 | p21 | p22 | p23 | p24 | p31 | p32 | p33 | p34 | p41 | p42 | p43 | p44 | Columns 1 through 7 0 5.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0011 0.0000 5.0000 10.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0011 0.0000 10.0000 15.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 -0.0000 15.0000 20.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0019 -0.0000 20.0000 25.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0037 0.0000 25.0000 30.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 -0.0012 -0.0000 30.0000 35.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0035 -0.0000 35,0000 40,0000 -0,0000 0,0000 -0,0001 0,0024 0,0000 40.0000 45.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0011 0.0000 45.0000 50.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0014 -0.0000 50.0000 55.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 55.0000 60.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0007 0.0000 60.0000 65.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 65.0000 70.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0008 -0.0000 70.0000 75.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0009 0.0000 75.0000 80.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0005 -0.0000 80.0000 85.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 0.0000 85.0000 90.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 90.0000 95.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 0.0000 95.0000 100.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0000 100.0000 105.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0006 -0.0000 105.0000 110.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 110.0000 115.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 0.0000 115.0000 120.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 0.0000 120.0000 125.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 -0.0000 125.0000 130.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 -0.0000 130.0000 135.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 0.0000 135.0000 140.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 0.0002 -0.0000 140.0000 145.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 -0.0000 145.0000 150.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0000 150.0000 155.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0016 -0.0000 155.0000 160.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0023 0.0000 160.0000 165.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0015 -0.0000 165.0000 170.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0012 0.0000 170.0000 175.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0012 -0.0000 175.0000 180.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 0.0000 180.0000 185.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0007 0.0000 185.0000 190.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0008 0.0000 190.0000 195.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 -0.0000

195.0000 200.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0007 -0.0000

200.0000 205.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0008 0.0000 205.0000 210.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0013 -0.0000 210.0000 215.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 0.0000 215.0000 220.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 0.0000 220.0000 225.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 225.0000 230.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 -0.0000 230.0000 235.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0006 0.0000 235.0000 240.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 -0.0000 240.0000 245.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 245.0000 250.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 250.0000 255.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 0.0000 255.0000 260.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0000 260.0000 265.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0020 -0.0000 265.0000 270.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0027 0.0000 270.0000 275.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0010 -0.0000 275.0000 280.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 -0.0000 280.0000 285.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0025 0.0000 285.0000 290.0000 -0.0000 0.0000 -0.0007 0.0114 0.0000 290.0000 295.0000 0.0000 -0.0000 0.0014 -0.0239 -0.0000 295.0000 300.0000 -0.0000 0.0000 -0.0013 0.0250 0.0000 300.0000 305.0000 0.0000 -0.0000 0.0006 -0.0121 -0.0000 305.0000 310.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0026 0.0000 310.0000 315.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 -0.0000 315.0000 320.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0005 0.0000 320.0000 325.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0006 0.0000 325.0000 330.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0000 330.0000 335.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 -0.0000 335.0000 340.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0037 -0.0000 340.0000 345.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 0.0050 0.0000 345.0000 350.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0027 -0.0000 350.0000 355.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0010 0.0000 355.0000 360.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0010 -0.0000 Columns 8 through 14 -0.0000 0.0012 -0.0211 -0.0000 0.0001 -0.0057 0.1097 -0.0000 0.0003 -0.0052 0.0000 -0.0000 0.0019 -0.0221 0.0000 -0.0006 0.0107 0.0000 -0.0000 0.0006 0.0051 0.0000 -0.0002 0.0041 -0.0000 0.0001 -0.0034 0.0791 -0.0000 0.0012 -0.0239 0.0000 -0.0000 0.0017 -0.0200 0.0000 -0.0008 0.0315 0.0000 -0.0001 0.0040 0.0177 0.0000 -0.0019 0.0141 -0.0000 0.0001 -0.0093 0.2458 -0.0000 0.0024 -0.0384 -0.0000 0.0001 -0.0069 0.1248 -0.0000 0.0002 -0.0017 0.0000 -0.0001 0.0060 -0.0753 0.0000 -0.0011 0.0156 0.0000 -0.0000 0.0017 -0.0058 -0.0000 0.0004 -0.0055 -0.0000 0.0000 -0.0018 0.0443 -0.0000 0.0004 -0.0065 0.0000 -0.0000 0.0020 -0.0162 0.0000 -0.0003 0.0037 0.0000 -0.0000 0.0027 -0.0305 0.0000 -0.0002 0.0033 0.0000 -0.0000 0.0004 0.0044 -0.0000 0.0005 -0.0088 0.0000 -0.0000 0.0020 -0.0228 0.0000 -0.0003 0.0051 0.0000 -0.0001 0.0030 -0.0412 -0.0000 0.0001 -0.0024 0.0000 -0.0000 0.0020 -0.0275 -0.0000 0.0000 -0.0008 0.0000 -0.0000 0.0029 -0.0435 -0.0000 0.0002 -0.0033 0.0000 -0.0001 0.0043 -0.0643 0.0000 -0.0002 0.0021 0.0000 -0.0001 0.0046 -0.0705 0.0000 -0.0004 0.0059 0.0000 -0.0000 0.0017 -0.0306 -0.0000 0.0003 -0.0028 0.0000 -0.0000 0.0008 -0.0153 -0.0000 0.0002 -0.0033 0.0000 -0.0001 0.0029 -0.0460 0.0000 -0.0000 0.0004 0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0062 -0.0000 0.0001 -0.0007 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0078 0.0000 -0.0000 -0.0009 -0.0000 0.0001 -0.0033 0.0505 0.0000 -0.0002 0.0040 -0.0000 0.0001 -0.0045 0.0665 -0.0000 0.0012 -0.0194 -0.0000 -0.0000 0.0004 -0.0102 0.0000 -0.0010 0.0157 0.0000 -0.0000 0.0017 -0.0284 0.0000 0.0004 -0.0062 -0.0000 0.0000 -0.0014 0.0195 0.0000 -0.0008 0.0125 -0.0000 0.0001 -0.0036 0.0511 -0.0000 0.0003 -0.0055 -0.0000 0.0001 -0.0060 0.0860 -0.0000 0.0001 -0.0014 -0.0000 0.0001 -0.0037 0.0513 -0.0000 0.0008 -0.0112 0.0000 -0.0000 0.0007 -0.0122 0.0000 -0.0001 0.0010 0.0000 -0.0001 0.0038 -0.0632 0.0000 -0.0004 0.0074 0.0000 -0.0000 0.0010 -0.0208 -0.0000 0.0001 -0.0025 -0.0000 0.0000 -0.0005 0.0040 0.0000 -0.0006 0.0091 -0.0000 0.0000 -0.0027 0.0372 -0.0000 0.0007 -0.0106 -0.0000 0.0000 -0.0021 0.0295 -0.0000 0.0003 -0.0039 0.0000 -0.0000 0.0027 -0.0432 -0.0000 0.0001 -0.0018 0.0000 -0.0000 0.0013 -0.0166 $0.0000 \ -0.0004 \ 0.0066 \ -0.0000 \ 0.0000 \ -0.0004 \ 0.0074$ -0.0000 -0.0000 0.0012 -0.0000 0.0000 -0.0027 0.0464 0.0000 0.0000 -0.0014 -0.0000 0.0000 -0.0026 0.0456 -0.0000 0.0001 -0.0010 -0.0000 0.0000 -0.0019 0.0337 0.0000 -0.0003 0.0039 -0.0000 0.0000 -0.0028 0.0483 0.0000 -0.0004 0.0076 -0.0000 0.0001 -0.0062 0.1060 -0.0000 0.0013 -0.0231 -0.0000 0.0000 -0.0015 0.0286 0.0000 -0.0011 0.0181 -0.0000 0.0000 -0.0004 0.0035 0.0000 -0.0002 0.0030 -0.0000 0.0001 -0.0073 0.1090 -0.0000 0.0002 -0.0019 -0.0000 0.0001 -0.0076 0.1145 -0.0000 0.0024 -0.0392 0.0000 -0.0001 0.0054 -0.0910 0.0001 -0.0083 0.1321 -0.0000 0.0004 -0.0242 0.3734

-0.0002 0.0125 -0.2257 -0.0000 0.0001 -0.0032 -0.0945
0.0001 -0.0074 0.1500 0.0000 -0.0003 0.0222 -0.4728
-0.0000 0.0016 -0.0322 -0.0000 0.0001 -0.0070 0.1163
0.0000 -0.0003 0.0063 -0.0000 0.0000 -0.0006 -0.0132
-0.0000 0.0000 0.0007 -0.0000 0.0000 -0.0022 0.0217
-0.0000 0.0004 -0.0068 -0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0088
0.0000 -0.0001 0.0022 0.0000 -0.0000 0.0015 -0.0315
0.0000 -0.0003 0.0050 -0.0000 0.0000 -0.0006 0.0044
0.0000 -0.0007 0.0102 -0.0000 0.0001 -0.0056 0.0803
0 0000 -0 0020 0 0295 0 0000 -0 0002 0 0118 -0 1812
-0.0000 0.0008 -0.0109 0.0000 -0.0001 0.0058 -0.0883
0.0000 -0.0003 0.0045 0.0000 -0.0001 0.0082 -0.1203
Columns 15 through 18
0.0000 -0.0005 0.0278 -1.1725
0.0000 -0.0004 0.0219 -1.0196
0.0000 -0.0005 0.0318 -1.1284
0.0000 -0.0004 0.0232 -0.8908
0.0000 -0.0002 0.0131 -0.0200
0.0000 -0.0000 0.0355 -0.8027
-0.0000 0.0005 -0.0315 1.0138
-0.0000 0.0004 -0.0243 0.9846
-0.0000 0.0000 -0.0000 0.7100
-0.0000 0.0001 -0.0063 0.8940
-0.0000 0.0001 -0.0063 0.9684
0.0000 -0.0001 0.0083 0.8090
0.0000 -0.0002 0.0160 0.7453
0.0000 -0.0003 0.0189 0.7498
0.0000 -0.0006 0.0352 0.5322
0.0000 -0.0001 0.0453 0.3311 0.0000 -0.0010 0.0586 0.2070
0.0000 -0.0010 0.0380 0.2073
0.0000 -0.0017 0.0997 -0.4106
0.0000 -0.0020 0.1165 -0.6791
0.0000 -0.0020 0.1198 -0.7576
0.0000 -0.0022 0.1294 -0.9087
0.0000 -0.0025 0.1464 -1.1890
0.0000 -0.0028 0.1621 -1.4349
0.0000 -0.0029 0.1665 -1.5124
0.0000 -0.0029 0.1072 -1.5428
0.0000 -0.0028 0.1618 -1.5061
0.0000 -0.0026 0.1471 -1.2766
0.0000 -0.0023 0.1283 -1.0045
0.0000 -0.0020 0.1120 -0.7663
0.0000 -0.0022 0.1261 -1.0091
0.0000 -0.0021 0.1214 -0.9403
0.0000 -0.0020 0.1137 -0.8416
0.0000 -0.0010 0.0618 -0.0979
0.0000 -0.0009 0.0516 0.0406
0.0000 -0.0011 0.0668 -0.1989
0.0000 -0.0014 0.0800 -0.4355
0.0000 -0.0013 0.0788 -0.4363
0.0000 -0.0013 0.0739 -0.3815
0.0000 -0.0010 0.0505 -0.1527
0.0000 -0.0013 0.0765 -0.4542
0.0000 -0.0015 0.0887 -0.6351
0.0000 -0.0017 0.0947 -0.7122
0.0000 -0.0017 0.0994 -0.7703
0.0000 -0.0016 0.0899 -0.6132
0.0000 -0.0014 0.0764 -0.3724
0.0000 -0.0012 0.0648 -0.1753
0.0000 -0.0006 0.0325 0.3799
0.0000 -0.0002 0.0059 0.8443
0.0000 -0.0003 0.0114 0.7529
-0.0000 0.0001 -0.0116 1.0972
-0.0000 0.0007 -0.0507 1.6765
-0.0000 0.0008 -0.0652 1.8908
-0.0000 0.0007 -0.0673 1.8829
-0.2228 4.0/09 0.0000 0.0015 0.0022 1.0974
-0.0000 0.0015 -0.0923 1.08/4 -0.0000 0.0015 -0.0922 0.9553
-0.0000 0.0017 -0.1032 1.0528
-0.0000 0.0019 -0.1116 1.0974
-0.0000 0.0020 -0.1186 1.1604
-0.0000 0.0019 -0.1126 1.0219
-0.0000 0.0019 -0.1098 0.9429
-0.0000 0.0021 -0.1235 1.1328
-0.0000 0.0024 -0.13/5 1.3210
-0.0000 0.0007 -0.0170 0.2002
-0.0000 0.0000 -0.0302 -0.1302

Izgled jednačina:

Izgled jednačina spline za nq=24.3 (25)

opseg	od	0 do	5 5	-> 1	F(1)) = 3.	83(06e-06*ThetaT^3+(0.00034254)*ThetaT^2+(0.0081915)*ThetaT+(-0.74)
opseg	od	5 do	1	3 ->	f(2	2) = 3	.8	306e-06*ThetaT^3+(0.0004)*ThetaT^2+(0.011904)*ThetaT+(-0.69)
opseg	od	10 0	do 1	15 - 2	> f((3) =	6.0	<pre>3847e-05*ThetaT^3+(0.00045746)*ThetaT^2+(0.016192)*ThetaT+(-0.62)</pre>
opseg	od	15 d	do 2	20 -:	> f((4) =	-0	.00040722*ThetaT^3+(0.0013702)*ThetaT^2+(0.02533)*ThetaT+(-0.52)
opseg	od	20 0	lo 2	25 -:	> f((5) =	0.0	<pre>301488*ThetaT^3+(-0.0047381)*ThetaT^2+(0.0084899)*ThetaT+(-0.41)</pre>
opseg	od	25 c	lo i	30 -:	> f((6) =	-0	.0021049*ThetaT^3+(0.017582)*ThetaT^2+(0.072711)*ThetaT+(-0.3)
opseg	od	30 0	lo 3	35 -:	> f((7) =	0.0	<pre>3010115*ThetaT^3+(-0.013991)*ThetaT^2+(0.090667)*ThetaT+(0.24)</pre>
opseg	od	35 0	do 4	10 -:	> f((8) =	-0	.00018108*ThetaT^3+(0.0011814)*ThetaT^2+(0.02662)*ThetaT+(0.47)
opseg	bo	40 0	10 4	45 -2	> †((9) =	0.0	10011283*Inetal^3+(-0.0015348)*Inetal^2+(0.024853)*Inetal+(0.61)
opseg	00	45 0	10 :		> 1	(10) =		3.02310-05*1neta1^3+(0.00015/65)*1neta1^2+(0.01/968)*1neta1+(0./1)
opseg	od	50 0	10 : 10 (יד < בי	(11) =	8	.09/10-06*ThetaT^3+(-0.00029582)*ThetaT^2+(0.01/2//)*ThetaT+(0.8)
onseg	od	60 0	10 6	55 -	> 1) > f)	(12) =	. 5	$2.13/3e-00^{+}$ ($-0.0001/430^{+}$) ($-0.0001/430^{+}$) (0.014920^{+}) (0.014920^{+}) (0.014920^{+}) (0.001^{+})
onseg	od	65 0		70 -	s fi	(14) =	. 2	$8591e-08*ThetaT^3+(-0.00020072)$ ThetaT $2+(0.01902)$ ThetaT+ (1.01)
onseg	od	70 0		75 -	s fi	(15) =		5 4655e-07*ThetaT^3+(-0 00019831)*ThetaT^2+(0 0090077)*ThetaT+(1 06)
onseg	od	75 0	to 8	30 - 3	> f((16) =	: 2	.5576e-06*ThetaT^3+(-0.00020801)*ThetaT^2+(0.0069761)*ThetaT+(1.1)
opseg	od	80 0	do 8	35 - 3	> f((17) =	: -9	<pre>J.5838e-06*ThetaT^3+(-0.00016965)*ThetaT^2+(0.0050878)*ThetaT+(1.13)</pre>
opseg	od	85 d	to s	90 -:	> f((18) =	: 3	.5778e-05*ThetaT^3+(-0.0003134)*ThetaT^2+(0.0026726)*ThetaT+(1.15)
opseg	od	90 0	do s	95 -:	> f((19) =	!	5.3527e-05*ThetaT^3+(0.00022326)*ThetaT^2+(0.0022219)*ThetaT+(1.16)
opseg	od	95 d	do 1	100 ·	-> 1	F(20)	= 3	1.8331e-05*ThetaT^3+(-0.00057965)*ThetaT^2+(0.00043995)*ThetaT+(1.17)
opseg	od	100	do	105	->	f(21)	=	6.0203e-05*ThetaT^3+(-0.00030468)*ThetaT^2+(-0.0039817)*ThetaT+(1.16)
opseg	od	105	do	110	->	f(22)	=	-9.9145e-05*ThetaT^3+(0.00059837)*ThetaT^2+(-0.0025132)*ThetaT+(1.14)
opseg	od	110	do	115	->	f(23)	=	9.6376e-05*ThetaT^3+(-0.0008888)*ThetaT^2+(-0.0039654)*ThetaT+(1.13)
opseg	od	115	do	120	- >	f(24)	=	-4.6358e-05*ThetaT^3+(0.00055683)*ThetaT^2+(-0.0056252)*ThetaT+(1.1)
opseg	od	120	do	125	- >	f(25)	=	9.0555e-06*ThetaT^3+(-0.00013853)*ThetaT^2+(-0.0035337)*ThetaT+(1.08)
opseg	od	125	do	130	->	f(26)	=	1.0136e-05*ThetaT^3+(-2.7003e-06)*ThetaT^2+(-0.0042399)*ThetaT+(1.06)
opseg	od	130	do	135	->	f(27)	=	-4.9598e-05*ThetaT^3+(0.00014933)*ThetaT^2+(-0.0035067)*ThetaT+(1.04)
opseg	od	135	do	140	->	f(28)	=	0.00010826*ThetaT^3+(-0.00059464)*ThetaT^2+(-0.0057332)*ThetaT+(1.02)
opseg	od	140	do	145	->	+(29)	=	-0.00014343*ThetaT^3+(0.0010292)*ThetaT^2+(-0.0035603)*ThetaT+(0.99)
opseg	od	145	ao	150	->	+(30)	=	0.00014546*Inetal^3+(-0.0011222)*Inetal^2+(-0.0040254)*Inetal+(0.98)
opseg	bo	150	do	155	->	+(31)	=	-0.00011842*Inetal^3+(0.001059/)*Inetal^2+(-0.004338)*Inetal+(0.95)
opseg	00	155	do	160	->	T(32)	=	8.8233E-05*Inetal^3+(-0.000/1664)*Inetal^2+(-0.0026226)*Inetal+(0.94)
opseg	od	160	do	170	->	T(33)	=	-/.4506E-05*THELd1^3+(0.00060655)*THELd1^2+(-0.0031/16)*THELd1+(0.92)
opseg	od	170	do	170	- `	1 (34)	=	4.3/322-05 [Inetal 3+(-0.000510/4) [Inetal 2+(-0.0020511)] [Inetal +(0.91)]
opseg	od	175	do	190	->	f(35)	_	-4.4000-05 [IIIeld] $-5+(0.00023013)$ [IIIeld] $-2+(-0.00040041)$ [IIIeld] $+(0.03)$
opseg	od	190	do	100		f(30)	_	(-0.00000000000000000000000000000000000
onsog	od	185	do	190		f(38)	_	$-858980-05*The+3T^3+(0.00023037)*The+3T^2+(-0.0037204)*The+3T+(0.84)$
onseg	od	190	do	195	->	f(39)	=	9.4328e-05*ThetaT^3+(-0.00085057)*ThetaT^2+(-0.0041054)*ThetaT+(0.81)
onseg	od	195	do	200	->	f(40)	=	-5.1416e-05*ThetaT^3+(0.00056436)*ThetaT^2+(-0.0055364)*ThetaT+(0.78)
onseg	od	200	do	205	->	f(41)	=	3.1336e-05*ThetaT^3+(-0.00020688)*ThetaT^2+(-0.003749)*ThetaT+(0.76)
opseg	od	205	do	210	->	f(42)	=	6.0713e-06*ThetaT^3+(0.00026316)*ThetaT^2+(-0.0034676)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	210	do	215	->	f(43)	=	-5.5621e-05*ThetaT^3+(0.00035423)*ThetaT^2+(-0.00038062)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	5.6414e-05*ThetaT^3+(-0.00048009)*ThetaT^2+(-0.0010099)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	220	do	225	->	f(45)	=	-1.0036e-05*ThetaT^3+(0.00036613)*ThetaT^2+(-0.0015797)*ThetaT+(0.72)
opseg	od	225	do	230	->	f(46)	=	-1.627e-05*ThetaT^3+(0.00021559)*ThetaT^2+(0.0013288)*ThetaT+(0.72)
opseg	od	230	do	235	- >	f(47)	=	-4.8823e-06*ThetaT^3+(-2.847e-05)*ThetaT^2+(0.0022644)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	3.58e-05*ThetaT^3+(-0.00010171)*ThetaT^2+(0.0016135)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	240	do	245	- >	f(49)	=	-5.8317e-05*ThetaT^3+(0.00043529)*ThetaT^2+(0.0032815)*ThetaT+(0.75)
opseg	od	245	do	250	->	f(50)	=	3.7467e-05*ThetaT^3+(-0.00043946)*ThetaT^2+(0.0032606)*ThetaT+(0.77)
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	-1.1552e-05*ThetaT^3+(0.00012255)*ThetaT^2+(0.0016761)*ThetaT+(0.78)
opseg	od	255	do	260	- >	f(52)	=	8.741e-06*ThetaT^3+(-5.0733e-05)*ThetaT^2+(0.0020351)*ThetaT+(0.79)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	-2.3412e-05*ThetaT^3+(8.0383e-05)*ThetaT^2+(0.0021834)*ThetaT+(0.8)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	4.9072e-06*ThetaT^3+(-0.0002708)*ThetaT^2+(0.0012313)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	-7.6217e-05*ThetaT^3+(-0.00019719)*ThetaT^2+(-0.0011086)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	275	do	280	->	+(56)	=	-2.004e-05*ThetaT^3+(-0.0013404)*ThetaT^2+(-0.0087968)*ThetaT+(0.79)
opseg	od	280	do	285	->	+(57)	=	0.00015638*ThetaT^3+(-0.001641)*ThetaT^2+(-0.023704)*ThetaT+(0.71)
opseg	bo	285	do	290	->	+(58)	=	0.0002/453*Inetal^3+(0.000/0461)*Inetal^2+(-0.028386)*Inetal+(0.5/)
opseg	00	290	do	295	->	T(59)	=	-0.0021345*Inetal^3+(0.0048226)*Inetal^2+(-0.000/5033)*Inetal+(0.48)
opseg	ou	295	do	300	->	T(00)	=	$0.003705*11011^3+(-0.027195)*11011^2+(-0.11201)*11011+(0.33)$
opseg	00	305	do	202	->	+(C)	=	-0.0022735 IIIetd1 $-5+(0.02057)$ IIIetd1 $-2+(-0.1008)$ IIIetd1 $+(-0.45)0 000/5/3/*ThetaTA3+(-0.00583/5)*ThetaTA3+(0.00591/)*ThetaT+(-0.5)$
opseg	od	210	do	215	->	+(62)	_	-1.7891_{0} (0.5*ThetaTA31(0.00090957)*ThetaTA31(0.009004)' HIELdI+(-0.50)
oncor	od	315	do	320	->	+(6A)	=	-1./0510-05 metal 5+(0.0005005/) metal 2+(-0.010450) metal (-0.02) -6 2774e-05*ThetaT^3+(0.00071221)*ThetaT^21/-0.00000017)*ThetaT+(-0.60)
onseg	od	320	do	320	->	f(65)		$2 89876-05*ThetaT^3+(-0.00071221)*ThetaT^2+(-0.0075777)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.00757)*ThetaT^3+(-0.007577)*ThetaT^3+(-0.007577)*Thet$
onseg	od	325	do	320	->	f(66)	=	2.6825e-05*ThetaT^3+(0.000223+) inclat $2+(-0.007577)$ inclat+(-0.75)
ODSeg	od	330	do	335	->	f(67)	=	-5.6288e-05*ThetaT^3+(0.00060778)*ThetaT^2+(-0.0036317)*ThetaT+(-0.8)
onseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	3.8326e-05*ThetaT^3+(-0.00023654)*ThetaT^2+(-0.0017755)*ThetaT+(-0.81)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	-1.7017e-05*ThetaT^3+(0.00033836)*ThetaT^2+(-0.0012664)*ThetaT+(-0.82)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	2.9741e-05*ThetaT^3+(8.3105e-05)*ThetaT^2+(0.00084094)*ThetaT+(-0.82)
opser	od	350	do	355	->	f(71)	=	-2.1948e-05*ThetaT^3+(0.00052922)*ThetaT^2+(0.0039026)*ThetaT+(-0.81)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	-2.1948e-05*ThetaT^3+(0.0002)*ThetaT^2+(0.0075487)*ThetaT+(-0.78)

Izgled jednačina spline za nq=41.81

 $\begin{array}{l} Izgled jednačina spline za nq = 41.81 \\ \text{opseg od 0 do 5 -> f(1) = 1.0985e-05*ThetaT^3+(-0.00016478)*ThetaT^2+(0.016549)*ThetaT+(-0.74) \\ \text{opseg od 5 do 10 -> f(2) = 1.0985e-05*ThetaT^3+(2.7783e-18)*ThetaT^2+(0.015725)*ThetaT+(-0.66) \\ \text{opseg od 10 do 15 -> f(3) = 2.5074e-05*ThetaT^3+(0.00016478)*ThetaT^2+(0.015549)*ThetaT+(-0.68) \\ \text{opseg od 15 do 20 -> f(4) = -3.128e-05*ThetaT^3+(0.00054088)*ThetaT^2+(0.02078)*ThetaT+(-0.49) \\ \text{opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00050005*ThetaT^3+(0.000554088)*ThetaT^2+(0.02104)*ThetaT+(-0.49) \\ \text{opseg od 25 do 30 -> f(5) = 0.00033558*ThetaT^3+(0.0075724)*ThetaT^2+(0.061361)*ThetaT+(-0.2) \\ \text{opseg od 35 do 40 -> f(8) = 0.00022659*ThetaT^3+(-0.0063612)*ThetaT^2+(0.067417)*ThetaT+(0.18) \\ \text{opseg od 45 do 50 -> f(7) = 0.00033558*ThetaT^3+(0.00025713)*ThetaT^2+(0.022073)*ThetaT+(0.4) \\ \text{opseg od 45 do 50 -> f(10) = 0.00026112*ThetaT^3+(0.00055915)*ThetaT^2+(0.0226)*ThetaT+(0.71) \\ \text{opseg od 55 do 60 -> f(12) = -0.00017094*ThetaT^3+(0.001121)*ThetaT^2+(0.022669)*ThetaT+(0.77) \\ \text{opseg od 55 do 60 -> f(12) = -0.00017094*ThetaT^3+(-0.0014432)*ThetaT^2+(0.019058)*ThetaT+(0.87) \\ \text{opseg od 66 do 65 -> f(13) = 8.6322e-05*ThetaT^3+(-0.0014432)*ThetaT^2+(0.0111)*ThetaT+(0.98) \\ \text{opseg od 65 do 70 -> f(14) = 6.5657e-05*ThetaT^3+(-0.0014434)*ThetaT^2+(0.0111)*ThetaT+(1.05) \\ \end{array}$

opseg	od	70 0	do I	75 -:	> f((15) =	- (<pre>0.00010895*ThetaT^3+(0.00083651)*ThetaT^2+(0.014541)*ThetaT+(1.11)</pre>
opseg	od	75 d	to 8	30 -:	> f((16) =	5	.0137e-05*ThetaT^3+(-0.00079771)*ThetaT^2+(0.014735)*ThetaT+(1.19)
opseg	od	80 0	to 8	35 -:	> f((17) =	-1	L.1601e-05*ThetaT^3+(-4.5655e-05)*ThetaT^2+(0.010518)*ThetaT+(1.25)
opseg	od	85 d	to s	90 -:	> f((18) =	7	.6265e-05*ThetaT^3+(-0.00021966)*ThetaT^2+(0.0091917)*ThetaT+(1.3)
opseg	od	90 0	to s	95 -:	> f((19) =	- 6	<pre>ð.00013346*ThetaT^3+(0.00092431)*ThetaT^2+(0.012715)*ThetaT+(1.35)</pre>
opseg	od	95 d	to :	100 -	-> 1	F(20)		-2.2423e-05*ThetaT^3+(-0.0010776)*ThetaT^2+(0.011949)*ThetaT+(1.42)
opseg	od	100	do	105	->	f(21)	=	0.00014315*ThetaT^3+(-0.0014139)*ThetaT^2+(-0.00050912)*ThetaT+(1.45)
opseg	od	105	do	110	->	f(22)	=	9.8106e-06*ThetaT^3+(0.00073336)*ThetaT^2+(-0.003912)*ThetaT+(1.43)
onseg	od	110	do	115	->	f(23)	=	-0.0001024*ThetaT^3+(0.00088052)*ThetaT^2+(0.0041573)*ThetaT+(1.43)
onseg	od	115	do	120	- >	f(24)	=	-2.2823e-07*ThetaT^3+(-0.00065542)*ThetaT^2+(0.0052828)*ThetaT+(1.46)
onseg	od	120	do	125	- >	f(25)	=	2.3309e-05*ThetaT^3+(-0.00065884)*ThetaT^2+(-0.0012885)*ThetaT+(1.47)
onseg	od	125	do	130	- 5	f(26)	_	6 6994e-05*ThetaT^3+(-0.00030921)*ThetaT^2+(-0.00612003)*ThetaT+(1.45)
onseg	od	130	do	135	- 5	f(20)	_	-0 00013129*ThetaT^3+(0 0006957)*ThetaT^2+(-0 0001266)*ThetaT+(1 42)
onseg	od	135	do	140	- 5	f(28)	_	$0.00013815*ThetaT^3+(-0.0012736)*ThetaT^2+(-0.0070858)*ThetaT+(1.4)$
onseg	od	140	do	145	- 5	f(20)	_	-0 0001013*ThetaT^3+(0 00079862)*ThetaT^2+(-0 0094606)*ThetaT+(1 35)
oncog	od	1/15	do	150		f(30)	_	$2 7064_{P-}05*The+3T^3+(-0.00072092)*The+3T^2+(-0.0099000)*The+3T+(1.31)$
onsog	od	150	do	155		f(30)	_	$0.00023305*ThetaT^3+(-0.00031496)*ThetaT^2+(-0.005072)*ThetaT+(1.31)$
opseg	od	100	do	160	- (+(22)	_	0.0002303° Inetal 5t(-0.00031490) Inetal 2t(-0.014251) Inetalt(1.25)
opseg	od	160	do	165	->	1(32)	_	-0.00051520° Inetal $-5+(0.0051000)^{\circ}$ Inetal $-2+(7.70100-05)^{\circ}$ Inetal $+(1.2)^{\circ}$
opseg	od	165	do	170	->	1(33)	_	0.00010530 IIIeta $1.5+(-0.0010001)$ IIIeta $1.2+(0.0079409)$ IIIeta $1+(1.24)$
opseg	od	170	do	170	->	1 (34) £(35)	_	-0.00023007'IIIELd1'3+(0.00003104)'IIIELd1'2+(0.0041300)'IIIELd1+(1.20)
opseg	ou	170	do	100	->	1(33) £(36)	=	0.000502/1 Inetains+(-0.0029965) Inetain2+(-0.0005755) Inetai+(1.27)
opseg	ou	100	do	100	->	T(30)	=	-0.00015416*1netd1^3+(0.0015422)*1netd1^2+(-0.01385/)*1netd1+(1.2)
opseg	oa	180	ao	185	->	T(37)	=	0.00023395° Inetal ³ +(-0.000//02/) [*] Inetal ² +(-0.00999/3) [*] Inetal+(1.15)
opseg	oa	185	ao	190	->	T(38)	=	-0.00030162^{1} inetal $^{3}+(0.002/389)^{1}$ inetal $^{2}+(-0.00015409)^{1}$ inetal $^{+}(1.11)$
opseg	od	190	ao	195	->	+(39)	=	$9.2526e-05*1hetal^3+(-0.001/854)*1hetal^2+(0.0046136)*1hetal+(1.14)$
opseg	od	195	do	200	->	+(40)	=	1.1512e-05*ThetaT^3+(-0.00039746)*ThetaT^2+(-0.0063005)*ThetaT+(1.13)
opseg	od	200	do	205	->	+(41)	=	-0.00013858*ThetaT^3+(-0.00022478)*ThetaT^2+(-0.0094117)*ThetaT+(1.09)
opseg	od	205	do	210	->	f(42)	=	0.00038279*ThetaT^3+(-0.0023034)*ThetaT^2+(-0.022053)*ThetaT+(1.02)
opseg	od	210	do	215	->	f(43)	=	-0.00019259*ThetaT^3+(0.0034384)*ThetaT^2+(-0.016378)*ThetaT+(0.9)
opseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	-1.2444e-05*ThetaT^3+(0.00054964)*ThetaT^2+(0.0035629)*ThetaT+(0.88)
opseg	od	220	do	225	->	f(45)	=	-7.7637e-05*ThetaT^3+(0.00036298)*ThetaT^2+(0.008126)*ThetaT+(0.91)
opseg	od	225	do	230	- >	f(46)	=	8.2994e-05*ThetaT^3+(-0.00080158)*ThetaT^2+(0.005933)*ThetaT+(0.95)
opseg	od	230	do	235	- >	f(47)	=	-9.4338e-05*ThetaT^3+(0.00044333)*ThetaT^2+(0.0041418)*ThetaT+(0.97)
opseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	5.4357e-05*ThetaT^3+(-0.00097174)*ThetaT^2+(0.0014998)*ThetaT+(0.99)
opseg	od	240	do	245	->	f(49)	=	3.6911e-05*ThetaT^3+(-0.00015638)*ThetaT^2+(-0.0041408)*ThetaT+(0.98)
opseg	od	245	do	250	- >	f(50)	=	-4.1999e-05*ThetaT^3+(0.00039727)*ThetaT^2+(-0.0029364)*ThetaT+(0.96)
opseg	od	250	do	255	- >	f(51)	=	5.1087e-05*ThetaT^3+(-0.00023271)*ThetaT^2+(-0.0021136)*ThetaT+(0.95)
opseg	od	255	do	260	->	f(52)	=	-8.2347e-05*ThetaT^3+(0.00053358)*ThetaT^2+(-0.00060924)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	0.0001183*ThetaT^3+(-0.00070162)*ThetaT^2+(-0.0014494)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	265	do	270	- >	f(54)	=	-0.00023086*ThetaT^3+(0.0010729)*ThetaT^2+(0.00040699)*ThetaT+(0.93)
opseg	od	270	do	275	- >	f(55)	=	8.5143e-05*ThetaT^3+(-0.00239)*ThetaT^2+(-0.0061785)*ThetaT+(0.93)
opseg	od	275	do	280	- >	f(56)	=	0.00021029*ThetaT^3+(-0.0011129)*ThetaT^2+(-0.023693)*ThetaT+(0.85)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	0.00011371*ThetaT^3+(0.0020415)*ThetaT^2+(-0.01905)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	285	do	290	- >	f(58)	=	-0.0019451*ThetaT^3+(0.0037471)*ThetaT^2+(0.0098926)*ThetaT+(0.7)
opseg	od	290	do	295	- >	f(59)	=	0.0029468*ThetaT^3+(-0.02543)*ThetaT^2+(-0.09852)*ThetaT+(0.6)
opseg	od	295	do	300	- >	f(60)	=	-0.0012019*ThetaT^3+(0.018772)*ThetaT^2+(-0.13181)*ThetaT+(-0.16)
opseg	od	300	do	305	- >	f(61)	=	2.0795e-05*ThetaT^3+(0.0007433)*ThetaT^2+(-0.034236)*ThetaT+(-0.5)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	-8.1294e-05*ThetaT^3+(0.0010552)*ThetaT^2+(-0.025244)*ThetaT+(-0.65)
onseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	6.4382e-05*ThetaT^3+(-0.00016419)*ThetaT^2+(-0.020789)*ThetaT+(-0.76)
onseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	-1.6233e-05*ThetaT^3+(0.00080154)*ThetaT^2+(-0.017602)*ThetaT+(-0.86)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	5.5153e-07*ThetaT^3+(0.00055804)*ThetaT^2+(-0.010804)*ThetaT+(-0.93)
onseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	-0.00014597*ThetaT^3+(0.00056631)*ThetaT^2+(-0.0051822)*ThetaT+(-0.97)
onseg	od	330	do	335	- >	f(67)	=	-5.666e-05*ThetaT^3+(-0.0016233)*ThetaT^2+(-0.010467)*ThetaT+(-1)
ODSEG	od	335	do	340	- 5	f(68)	=	$0.00093261*ThetaT^3+(-0.0024732)*ThetaT^2+(-0.030949)*ThetaT^(-1.1)$
onseg	od	340	do	345		f(69)	_	$-0.0012738*ThetaT^3+(0.011516)*ThetaT^2+(0.01025)*ThetaT+(-1.2)$
oncor	od	315	de	350		f(70)	_	$0.00072258*ThetaT^2+(-0.0075909)*ThetaT^2+(0.014205)*ThetaT+(-1)$
oncor	od	350	do	325		f(71)	_	-0.00072250 metal $5+(-0.007505)$ metal $2+(0.05505)$ metal $(-1)-0.00025652*The+5T^{2}(0.0032077)*The+5T^{2}(0.012170)*The+5T_{2}(-0.02)$
opseg	od	225	do	260	->	+(72)	-	-0.00025052 Thetal $3+(0.00524777)$ Thetal $2+(0.00524774)$ Thetal $+(-0.93)$
opseg	υu	202	uÜ	200	->	1(/2)	=	-0.00023032 THELAT 3+(-0.0000) THELAT 2+(0.023413) THELAT+(-0.82)

Izgled jednačina spline za nq=64

opse	eg od 0 do 5 -> f(1) = -0.00065187*ThetaT^3+(0.013978)*ThetaT^2+(-0.057593)*ThetaT+(-0.69)	
opse	eg od 5 do 10 -> f(2) = -0.00065187*ThetaT^3+(0.0042)*ThetaT^2+(0.033297)*ThetaT+(-0.71)	
opse	eg od 10 do 15 -> f(3) = 0.00053933*ThetaT^3+(-0.005578)*ThetaT^2+(0.026407)*ThetaT+(-0.52)	
opse	eg od 15 do 20 -> f(4) = -0.00022546*ThetaT^3+(0.002512)*ThetaT^2+(0.011077)*ThetaT+(-0.46)	
opse	eg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00068249*ThetaT^3+(-0.00086987)*ThetaT^2+(0.019287)*ThetaT+(-0.37)	
opse	eg od 25 do 30 -> f(6) = -0.0011445*ThetaT^3+(0.0093675)*ThetaT^2+(0.061775)*ThetaT+(-0.21)	
opse	eg od 30 do 35 -> f(7) = 0.00053555*ThetaT^3+(-0.0078002)*ThetaT^2+(0.069612)*ThetaT+(0.19)	
opse	eg od 35 do 40 -> f(8) = -3.7697e-05*ThetaT^3+(0.00023312)*ThetaT^2+(0.031777)*ThetaT+(0.41)	
opse	eg od 40 do 45 -> f(9) = -6.4765e-05*ThetaT^3+(-0.00033233)*ThetaT^2+(0.031281)*ThetaT+(0.57)	
opse	eg od 45 do 50 -> f(10) = 0.00013676*ThetaT^3+(-0.0013038)*ThetaT^2+(0.0231)*ThetaT+(0.71)	
opse	eg od 50 do 55 -> f(11) = -8.2259e-05*ThetaT^3+(0.00074754)*ThetaT^2+(0.020319)*ThetaT+(0.81)	
opse	eg od 55 do 60 -> f(12) = 0.00011228*ThetaT^3+(-0.00048635)*ThetaT^2+(0.021625)*ThetaT+(0.92)	
opse	eg od 60 do 65 -> f(13) = -0.00028687*ThetaT^3+(0.0011979)*ThetaT^2+(0.025182)*ThetaT+(1.03)	
opse	eg od 65 do 70 -> f(14) = 0.00039519*ThetaT^3+(-0.0031051)*ThetaT^2+(0.015646)*ThetaT+(1.15)	
opse	eg od 70 do 75 -> f(15) = -0.00033389*ThetaT^3+(0.0028227)*ThetaT^2+(0.014234)*ThetaT+(1.2)	
opse	eg od 75 do 80 -> f(16) = 0.00022038*ThetaT^3+(-0.0021857)*ThetaT^2+(0.017419)*ThetaT+(1.3)	
opse	eg od 80 do 85 -> f(17) = -0.00014762*ThetaT^3+(0.00112)*ThetaT^2+(0.012091)*ThetaT+(1.36)	
opse	eg od 85 do 90 -> f(18) = 0.00013012*ThetaT^3+(-0.0010944)*ThetaT^2+(0.012219)*ThetaT+(1.43)	
opse	eg od 90 do 95 -> f(19) = -0.00013284*ThetaT^3+(0.00085739)*ThetaT^2+(0.011034)*ThetaT+(1.48)	
opse	eg od 95 do 100 -> f(20) = 8.1248e-05*ThetaT^3+(-0.0011352)*ThetaT^2+(0.0096449)*ThetaT+(1.54)	
opse	eg od 100 do 105 -> f(21) = -3.215e-05*ThetaT^3+(8.3495e-05)*ThetaT^2+(0.0043863)*ThetaT+(1.57)
opse	eg od 105 do 110 -> f(22) = -3.2647e-05*ThetaT^3+(-0.00039876)*ThetaT^2+(0.00281)*ThetaT+(1.59)
opse	eg od 110 do 115 -> f(23) = 8.2738e-05*ThetaT^3+(-0.00088846)*ThetaT^2+(-0.0036261)*ThetaT+(1.	59)
opse	eg od 115 do 120 -> f(24) = -5.8304e-05*ThetaT^3+(0.0003526)*ThetaT^2+(-0.0063054)*ThetaT+(1.5	6)
opse	eg od 120 do 125 -> f(25) = 7.0478e-05*ThetaT^3+(-0.00052196)*ThetaT^2+(-0.0071522)*ThetaT+(1.	53)
opse	eg od 125 do 130 -> f(26) = -6.361e-05*ThetaT^3+(0.00053522)*ThetaT^2+(-0.0070859)*ThetaT+(1.4	9)
opse	eg od 130 do 135 -> f(27) = 2.396e-05*ThetaT^3+(-0.00041892)*ThetaT^2+(-0.0065044)*ThetaT+(1.4	6)
opse	eg od 135 do 140 -> f(28) = -3.223e-05*ThetaT^3+(-5.9524e-05)*ThetaT^2+(-0.0088966)*ThetaT+(1.	42)
opse	eg od 140 do 145 -> f(29) = -5.5039e-05*ThetaT^3+(-0.00054298)*ThetaT^2+(-0.011909)*ThetaT+(1.	37)
opse	eg od 145 do 150 -> f(30) = 0.00025239*ThetaT^3+(-0.0013686)*ThetaT^2+(-0.021467)*ThetaT+(1.29)
opse	eg od 150 do 155 -> f(31) = -7.4504e-05*ThetaT^3+(0.0024172)*ThetaT^2+(-0.016224)*ThetaT+(1.18)

opseg	od	155	do	160	->	f(32)	=	-0.00027437*ThetaT^3+(0.0012997)*ThetaT^2+(0.0023609)*ThetaT+(1.15)
opseg	od	160	do	165	->	f(33)	=	0.00029198*ThetaT^3+(-0.0028159)*ThetaT^2+(-0.0052202)*ThetaT+(1.16)
opseg	od	165	do	170	->	f(34)	=	-0.00017356*ThetaT^3+(0.0015639)*ThetaT^2+(-0.01148)*ThetaT+(1.1)
opseg	od	170	do	175	->	f(35)	=	8.226e-05*ThetaT^3+(-0.0010396)*ThetaT^2+(-0.0088587)*ThetaT+(1.06)
opseg	od	175	do	180	->	f(36)	=	4.522e-06*ThetaT^3+(0.00019434)*ThetaT^2+(-0.013085)*ThetaT+(1)
opseg	od	180	do	185	->	f(37)	=	5.9652e-05*ThetaT^3+(0.00026217)*ThetaT^2+(-0.010802)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	185	do	190	->	f(38)	=	-8.3131e-05*ThetaT^3+(0.001157)*ThetaT^2+(-0.0037065)*ThetaT+(0.9)
opseg	od	190	do	195	->	f(39)	=	-4.7126e-05*ThetaT^3+(-9.0013e-05)*ThetaT^2+(0.0016282)*ThetaT+(0.9)
opseg	od	195	do	200	->	f(40)	=	3.1637e-05*ThetaT^3+(-0.00079691)*ThetaT^2+(-0.0028064)*ThetaT+(0.9)
opseg	od	200	do	205	->	f(41)	=	8.0578e-05*ThetaT^3+(-0.00032235)*ThetaT^2+(-0.0084027)*ThetaT+(0.87)
opseg	od	205	do	210	->	f(42)	=	4.605e-05*ThetaT^3+(0.00088632)*ThetaT^2+(-0.0055829)*ThetaT+(0.83)
opseg	od	210	do	215	->	f(43)	=	-0.00026478*ThetaT^3+(0.0015771)*ThetaT^2+(0.0067341)*ThetaT+(0.83)
opseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	0.00021306*ThetaT^3+(-0.0023946)*ThetaT^2+(0.0026464)*ThetaT+(0.87)
opseg	od	220	do	225	->	f(45)	=	-2.7477e-05*ThetaT^3+(0.00080135)*ThetaT^2+(-0.0053198)*ThetaT+(0.85)
opseg	od	225	do	230	->	f(46)	=	-2.3154e-05*ThetaT^3+(0.00038919)*ThetaT^2+(0.0006329)*ThetaT+(0.84)
opseg	od	230	do	235	->	f(47)	=	-3.9905e-05*ThetaT^3+(4.1876e-05)*ThetaT^2+(0.0027882)*ThetaT+(0.85)
opseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	2.2774e-05*ThetaT^3+(-0.0005567)*ThetaT^2+(0.00021414)*ThetaT+(0.86)
opseg	od	240	do	245	->	f(49)	=	2.881e-05*ThetaT^3+(-0.00021509)*ThetaT^2+(-0.0036448)*ThetaT+(0.85)
opseg	od	245	do	250	->	f(50)	=	-5.8014e-05*ThetaT^3+(0.00021706)*ThetaT^2+(-0.003635)*ThetaT+(0.83)
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	4.3246e-05*ThetaT^3+(-0.00065315)*ThetaT^2+(-0.0058154)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	255	do	260	->	f(52)	=	-3.497e-05*ThetaT^3+(-4.459e-06)*ThetaT^2+(-0.0091034)*ThetaT+(0.77)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	9.6635e-05*ThetaT^3+(-0.00052901)*ThetaT^2+(-0.011771)*ThetaT+(0.72)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	-0.00011157*ThetaT^3+(0.00092051)*ThetaT^2+(-0.0098133)*ThetaT+(0.66)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	-0.00029035*ThetaT^3+(-0.00075304)*ThetaT^2+(-0.0089759)*ThetaT+(0.62)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	-0.00040701*ThetaT^3+(-0.0051084)*ThetaT^2+(-0.038283)*ThetaT+(0.52)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	0.0018384*ThetaT^3+(-0.011214)*ThetaT^2+(-0.11989)*ThetaT+(0.15)
opseg	od	285	do	290	->	f(58)	=	-0.0012666*ThetaT^3+(0.016363)*ThetaT^2+(-0.094147)*ThetaT+(-0.5)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	0.00034805*ThetaT^3+(-0.0026367)*ThetaT^2+(-0.025518)*ThetaT+(-0.72)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	-0.00020558*ThetaT^3+(0.0025841)*ThetaT^2+(-0.025781)*ThetaT+(-0.87)
opseg	od	300	do	305	->	f(61)	=	7.4258e-05*ThetaT^3+(-0.00049959)*ThetaT^2+(-0.015359)*ThetaT+(-0.96)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	-1.1457e-05*ThetaT^3+(0.00061429)*ThetaT^2+(-0.014785)*ThetaT+(-1.04)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	-2.8431e-05*ThetaT^3+(0.00044243)*ThetaT^2+(-0.0095014)*ThetaT+(-1.1)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	4.518e-05*ThetaT^3+(1.5972e-05)*ThetaT^2+(-0.0072094)*ThetaT+(-1.14)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	-7.229e-05*ThetaT^3+(0.00069368)*ThetaT^2+(-0.0036611)*ThetaT+(-1.17)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	8.3981e-05*ThetaT^3+(-0.00039068)*ThetaT^2+(-0.0021461)*ThetaT+(-1.18)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	-2.3635e-05*ThetaT^3+(0.00086904)*ThetaT^2+(0.00024567)*ThetaT+(-1.19)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	-6.9441e-05*ThetaT^3+(0.00051452)*ThetaT^2+(0.0071635)*ThetaT+(-1.17)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	0.0001414*ThetaT^3+(-0.0005271)*ThetaT^2+(0.0071005)*ThetaT+(-1.13)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	-9.6158e-05*ThetaT^3+(0.0015939)*ThetaT^2+(0.012434)*ThetaT+(-1.09)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	8.3232e-05*ThetaT^3+(0.00015153)*ThetaT^2+(0.021162)*ThetaT+(-1)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	8.3232e-05*ThetaT^3+(0.0014)*ThetaT^2+(0.028919)*ThetaT+(-0.88)

Izgled jednačina spline za nq=71.97

opseg od 0 do 5 -> f(1) = 3.5711e-05*ThetaT^3+(-0.00053566)*ThetaT^2+(0.013786)*ThetaT+(-0.83)
opseg od 5 do 10 -> f(2) = 3.5711e-05*ThetaT^3+(1.7347e-18)*ThetaT^2+(0.011107)*ThetaT+(-0.77)
opseg od 10 do 15 -> f(3) = -1.8555e-05*ThetaT^3+(0.00053566)*ThetaT^2+(0.013786)*ThetaT+(-0.71)
opseg od 15 do 20 -> f(4) = -4.1492e-05*ThetaT^3+(0.00025734)*ThetaT^2+(0.017751)*ThetaT+(-0.63)
opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00018452*ThetaT^3+(-0.00036504)*ThetaT^2+(0.017212)*ThetaT+(-0.54)
opseg od 25 do 30 -> f(6) = -0.0002166*ThetaT^3+(0.0024028)*ThetaT^2+(0.027401)*ThetaT+(-0.44)
opseg od 30 do 35 -> f(7) = 0.00092189*ThetaT^3+(-0.00084624)*ThetaT^2+(0.035184)*ThetaT+(-0.27)
opseg od 35 do 40 -> f(8) = -0.001951*ThetaT^3+(0.012982)*ThetaT^2+(0.095863)*ThetaT+(0)
opseg od 40 do 45 -> f(9) = 0.0012819*ThetaT^3+(-0.016282)*ThetaT^2+(0.079363)*ThetaT+(0.56)
opseg od 45 do 50 -> f(10) = -0.00029682*ThetaT^3+(0.0029469)*ThetaT^2+(0.012686)*ThetaT+(0.71)
opseg od 50 do 55 -> f(11) = 0.00014533*ThetaT^3+(-0.0015054)*ThetaT^2+(0.019894)*ThetaT+(0.81)
opseg od 55 do 60 -> f(12) = -0.00012449*ThetaT^3+(0.00067455)*ThetaT^2+(0.01574)*ThetaT+(0.89)
opseg od 60 do 65 -> f(13) = 0.00011264*ThetaT^3+(-0.0011928)*ThetaT^2+(0.013148)*ThetaT+(0.97)
opseg od 65 do 70 -> f(14) = -8.6063e-05*ThetaT^3+(0.00049675)*ThetaT^2+(0.0096678)*ThetaT+(1.02)
opseg od 70 do 75 -> f(15) = 7.1612e-05*ThetaT^3+(-0.00079419)*ThetaT^2+(0.0081806)*ThetaT+(1.07)
opseg od 75 do 80 -> f(16) = -4.0386e-05*ThetaT^3+(0.00028)*ThetaT^2+(0.0056097)*ThetaT+(1.1)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = 9.9315e-06*ThetaT^3+(-0.00032579)*ThetaT^2+(0.0053807)*ThetaT+(1.13)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 6.5985e-07*ThetaT^3+(-0.00017682)*ThetaT^2+(0.0028676)*ThetaT+(1.15)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = -1.2571e-05*ThetaT^3+(-0.00016692)*ThetaT^2+(0.0011489)*ThetaT+(1.16)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = 4.9624e-05*ThetaT^3+(-0.00035549)*ThetaT^2+(-0.0014632)*ThetaT+(1.16)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = -0.00010592*ThetaT^3+(0.00038887)*ThetaT^2+(-0.0012962)*ThetaT+(1.15)
opseg od 105 do 110 -> $+(22) = 0.00013407*heta[^3+(-0.0012)*heta[^2+(-0.0053519)*heta[+(1.14)]$
opseg od 110 do 115 -> f(23) = -0.00011037*ThetaT^3+(0.00081111)*ThetaT^2+(-0.0072963)*ThetaT+(1.1)
opseg od 115 do 120 -> $f(24) = 6.7408e-05*\text{lheta}^3+(-0.0084444)*\text{lheta}^2+(-0.007463)*\text{lheta}^1+(1.07)$
opseg od 120 do 125 -> f(25) = 8.0/4e-05*1heta1~3+(0.0001666/)*1heta1~2+(-0.010852)*1heta1+(1.02)
opseg od 125 do 130 -> T(26) = -0.0001503/*inetal~3+(0.0013//8)*inetal~2+(-0.003129/)*inetal+(0.98)
opseg od 130 do 135 -> $\tau(2)$ = 0.000120/3* inetal -3+(-0.0008///5)* inetal -2+(-0.00062954)* inetal +(0.98)
obset of 140 $+$ $+$ $+$ $+$ $+$ $+$ $+$ $+$ $+$ $+$
obset of 140 to 145 -> $T(29) = 3.4800-00^{+} \text{Inteld}^{-1}(-0.0004551)^{+} \text{Inteld}^{-2}(-0.0020584)^{+} \text{Inteld}^{-1}(0.0020584)^{-} \text{Inteld}^{-1}(0.$
0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
oper of 160 do 165 -2 (32) -3 (35) -3 (
0 = 0 $0 = 0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 =$
onseg od 170 do 175 -> $f(35) = -9.8475a-05*ThetaT^3+(0.00070802)*ThetaT^3+(-0.0050782)*ThetaT(0.92)$
$0 \to 0$ of 175 do $180 \to 1(35) = 0.00012917*ThataT^1(-0.0007691)*ThataT^2(-0.0053836)*ThataT(0.0)$
$0 \to 0^{-1}$ on 180 do $185 \to 1(35) = -0.00017819$ ThetaT $^{-1}(0.001051)$ ThetaT $^{-2}(-0.0033872)$ ThetaT $^{-1}(0.87)$
$0 \rightarrow 0$ (35) $0 \rightarrow 0$ (37) (37) (37) (37) (37) (37) (37) (37)
onseg od 190 do 195 -> f(39) = -0.00015618*ThetaT^3+(0.0012494)*ThetaT^2+(-0.0063426)*ThetaT+(0.82)
opser od 195 do 200 -> f(40) = 0.00012114*ThetaT^1+(-0.001033)*ThetaT^2+(-0.00552)*ThetaT+(0.8)
onseg od 200 do 205 -> f(41) = -8 83840-05*ThetaT^3+(0 00072382)*ThetaT^2+(-0 0074095)*ThetaT+(-76)
(0, 7)
opseg od 210 do 215 -> f(43) = -4.1195e-05*ThetaT^3+(0.00048397)*ThetaT^2+(-0.00739)*ThetaT+(0.69)
$c_{1} = c_{1} = c_{1$
opseg od 220 do 225 -> f(45) = -8.3403e-06*ThetaT^3+(5.181e-05)*ThetaT^2+(-0.0060505)*ThetaT+(0.63)
opseg od 225 do 230 -> f(46) = 2.0977e-05*ThetaT^3+(-7.3294e-05)*ThetaT^2+(-0.006158)*ThetaT+(0.6)
opseg od 230 do 235 -> f(47) = 4.431e-06*ThetaT^3+(0.00024137)*ThetaT^2+(-0.0053176)*ThetaT+(0.57)
opseg od 235 do 240 -> f(48) = -3.8701e-05*ThetaT^3+(0.00030783)*ThetaT^2+(-0.0025716)*ThetaT+(0.55)

onseg	od	240	do	245	->	f(49)	=	-9.6257e-06*ThetaT^3+(-0.00027269)*ThetaT^2+(-0.0023959)*ThetaT+(0.54)
00000	od	245	do	250	ĺ.	£(EQ)	_	2 70590 06*Thot-TA21(0 0001707)*Thot-TA21(0 0059047)*Thot-T1(0 52)
opseg	ou	245	uo	250	->	т(50)	=	-2.7958e-06* metal $-3+(-0.00041707)*$ metal $-2+(-0.0058447)*$ metal $+(0.52)$
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	0.00010081*ThetaT^3+(-0.00045901)*ThetaT^2+(-0.010225)*ThetaT+(0.48)
opseg	od	255	do	260	->	f(52)	=	-0.00072044*ThetaT^3+(0.0010531)*ThetaT^2+(-0.0072546)*ThetaT+(0.43)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	0.0012609*ThetaT^3+(-0.0097535)*ThetaT^2+(-0.050756)*ThetaT+(0.33)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	-0.00064336*ThetaT^3+(0.0091608)*ThetaT^2+(-0.05372)*ThetaT+(-0.01)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	3.2474e-05*ThetaT^3+(-0.00048957)*ThetaT^2+(-0.010364)*ThetaT+(-0.13)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	-4.6539e-05*ThetaT^3+(-2.4686e-06)*ThetaT^2+(-0.012824)*ThetaT+(-0.19)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	-0.00016632*ThetaT^3+(-0.00070055)*ThetaT^2+(-0.016339)*ThetaT+(-0.26)
opseg	od	285	do	290	->	f(58)	=	0.00055181*ThetaT^3+(-0.0031953)*ThetaT^2+(-0.035819)*ThetaT+(-0.38)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	-0.00044092*ThetaT^3+(0.0050818)*ThetaT^2+(-0.026386)*ThetaT+(-0.57)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	9.1888e-05*ThetaT^3+(-0.001532)*ThetaT^2+(-0.008637)*ThetaT+(-0.63)
opseg	od	300	do	305	->	f(61)	=	7.3373e-05*ThetaT^3+(-0.00015371)*ThetaT^2+(-0.017066)*ThetaT+(-0.7)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	-6.5378e-05*ThetaT^3+(0.00094688)*ThetaT^2+(-0.0131)*ThetaT+(-0.78)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	2.8141e-05*ThetaT^3+(-3.3798e-05)*ThetaT^2+(-0.0085345)*ThetaT+(-0.83)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	-4.7185e-05*ThetaT^3+(0.00038831)*ThetaT^2+(-0.006762)*ThetaT+(-0.87)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	8.0598e-05*ThetaT^3+(-0.00031946)*ThetaT^2+(-0.0064177)*ThetaT+(-0.9)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	-0.00011521*ThetaT^3+(0.00088951)*ThetaT^2+(-0.0035674)*ThetaT+(-0.93)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	0.00014023*ThetaT^3+(-0.0008386)*ThetaT^2+(-0.0033128)*ThetaT+(-0.94)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	-0.00012572*ThetaT^3+(0.0012649)*ThetaT^2+(-0.0011814)*ThetaT+(-0.96)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	0.00012266*ThetaT^3+(-0.00062095)*ThetaT^2+(0.0020383)*ThetaT+(-0.95)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	-0.00012491*ThetaT^3+(0.0012189)*ThetaT^2+(0.0050281)*ThetaT+(-0.94)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	5.6982e-05*ThetaT^3+(-0.00065473)*ThetaT^2+(0.0078491)*ThetaT+(-0.9)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	5.6982e-05*ThetaT^3+(0.0002)*ThetaT^2+(0.0055754)*ThetaT+(-0.87)

Izgled jednačina spline za nq=76.21

P P P P P P P P P P
$ \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 $
obsets of 10 ± 7 ± 7 (2) = -2.09222-05*Intela1*2+(0.0004)*Intela1*2+(0.01522)*Intela1+(-0.93)
opseg od 10 do 15 -> $T(3) = 0.00010461^{+}$ inetal-3+ $(8.61/2-05)^{+}$ inetal-2+ $(0.020954)^{+}$ inetal+ $(-0.83)^{-}$
opseg od 15 do 20 -> +(4) = -0.00031752*ThetaT^3+(0.0016553)*ThetaT^2+(0.029661)*ThetaT+(-0.71)
opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00044546*ThetaT^3+(-0.0031074)*ThetaT^2+(0.022401)*ThetaT+(-0.56)
opseg od 25 do 30 -> f(6) = -0.00026433*ThetaT^3+(0.0035745)*ThetaT^2+(0.024736)*ThetaT+(-0.47)
opseg od 30 do 35 -> f(7) = 0.00077185*ThetaT^3+(-0.00039045)*ThetaT^2+(0.040656)*ThetaT+(-0.29)
opseg od 35 do 40 -> f(8) = -0.0017031*ThetaT^3+(0.011187)*ThetaT^2+(0.09464)*ThetaT+(0)
opseg od 40 do 45 -> f(9) = 0.0010805*ThetaT^3+(-0.014359)*ThetaT^2+(0.078783)*ThetaT+(0.54)
onseg of 45 do 50 -> $f(10) = -0.0001388*ThetaT^3+(0.0018482)*ThetaT^2+(0.016229)*ThetaT+(0.71)$
onset of 50 do 55 \cdot f(11) = -4 5778-05*ThetaT^3+(-0.00023381)*ThetaT^3+(0.002381)*ThetaT^3+(0.0023
$a_{12} = a_{12} = a$
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
obseg ou 55 do 70 -> $T(14) = -2.26992-05^{-1} \text{ field}^{-2}(-0.000223)^{+1} \text{ field}^{-2}(0.015712)^{+1} \text{ field}^{+}(1.09)$
opseg od /0 do /5 -> f(15) = 4.50956-05*10eta1*3+(-0.00056948)*10eta1*2+(0.011/2)*10eta1+(1.16)
opseg od /5 do 80 \rightarrow f(16) = 2.3253e-06*inetal^3+(0.00010692)*inetal^2+(0.00940/3)*inetal+(1.21)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = -5.4394e-05*ThetaT^3+(0.0001418)*ThetaT^2+(0.010651)*ThetaT+(1.26)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 5.5253e-05*ThetaT^3+(-0.00067412)*ThetaT^2+(0.0079893)*ThetaT+(1.31)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = -8.6616e-05*ThetaT^3+(0.00015467)*ThetaT^2+(0.005392)*ThetaT+(1.34)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = 0.00013121*ThetaT^3+(-0.0011446)*ThetaT^2+(0.00044257)*ThetaT+(1.36)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = -0.00011822*ThetaT^3+(0.00082359)*ThetaT^2+(-0.0011623)*ThetaT+(1.35)
opseg od 105 do 110 -> f(22) = 0.00010169*ThetaT^3+(-0.00094978)*ThetaT^2+(-0.0017933)*ThetaT+(1.35)
opseg od 110 do 115 -> f(23) = -0.00012852*ThetaT^3+(0.00057552)*ThetaT^2+(-0.0036646)*ThetaT+(1.33)
opseg od 115 do 120 -> f(24) = 0.0001724*ThetaT^3+(-0.0013523)*ThetaT^2+(-0.0075485)*ThetaT+(1.31)
opseg od 120 do 125 -> f(25) = -8.1077e-05*ThetaT^3+(0.0012337)*ThetaT^2+(-0.0081415)*ThetaT+(1.26)
onseg od 125 do 130 -> $f(26) = -8.0899e-06*ThetaT^3+(1.7531e-05)*ThetaT^2+(-0.0018854)*ThetaT+(1.24)$
onseg od 130 do 135 -> $f(27) = 3.347e-0.5*ThetaT^3/(-0.0010382)*ThetaT^2/(-0.0023168)*ThetaT(1.23)$
0.056 of 135 do $140 \rightarrow 5(2.8) = -4.558a - 05*ThetaT^3+(0.00039774)*ThetaT^2-(-0.00084774)*ThetaT+(1.2)$
once of 1/0 to $1/5 = 10^{-5}$ f(20) = 6 9194e_05*ThetaTA(-0.00028713)*ThetaTA(-0.00029/2)*ThetaTA(1.22)
$p_{1} = p_{2} = p_{1} = p_{1$
0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
obseg ou 150 do 155 -> $T(51) = -2.4/23e-65^{+}(1e41)^{-5}(-0.0005159)^{+}(1e41)^{-2}(-0.0004150)^{+}(1e41)^{-1}(1.24)$
opseg od 155 do 160 -> $\tau(32) = 9.0009e-05^{\circ} \text{Inetal}(3+(-0.0008583)^{\circ} \text{Inetal}(2+(-0.0008168)^{\circ}))^{\circ} \text{Inetal}(1.25)$
opseg od 160 do 165 -> +(33) = -9.513e-05*1heta1^3+(0.0006633)*1heta1^2+(-0.000933)*1heta1+(1.24)
opseg od 165 do 170 -> +(34) = 5.1241e-05*ThetaT^3+(-0.00076639)*ThetaT^2+(-0.0014491)*ThetaT+(1.24)
opseg od 170 do 175 -> f(35) = -2.9653e-05*ThetaT^3+(2.2372e-06)*ThetaT^2+(-0.0052699)*ThetaT+(1.22)
opseg od 175 do 180 -> f(36) = -1.2628e-05*ThetaT^3+(-0.00044256)*ThetaT^2+(-0.0074715)*ThetaT+(1.19)
opseg od 180 do 185 -> f(37) = 1.653e-07*ThetaT^3+(-0.00063198)*ThetaT^2+(-0.012844)*ThetaT+(1.14)
opseg od 185 do 190 -> f(38) = 1.1967e-05*ThetaT^3+(-0.0006295)*ThetaT^2+(-0.019152)*ThetaT+(1.06)
opseg od 190 do 195 -> f(39) = 0.00019197*ThetaT^3+(-0.00045)*ThetaT^2+(-0.024549)*ThetaT+(0.95)
opseg od 195 do 200 -> f(40) = -0.00021984*ThetaT^3+(0.0024295)*ThetaT^2+(-0.014652)*ThetaT+(0.84)
opseg od 200 do 205 -> f(41) = 4.7381e-05*ThetaT^3+(-0.00086805)*ThetaT^2+(-0.0068443)*ThetaT+(0.8)
opseg od 205 do 210 -> f(42) = 3.0313e-05*ThetaT^3+(-0.00015733)*ThetaT^2+(-0.011971)*ThetaT+(0.75)
opseg od 210 do 215 -> f(43) = -8.6346e-06*ThetaT^3+(0.00029737)*ThetaT^2+(-0.011271)*ThetaT+(0.69)
opseg od 215 do 220 -> $f(44) = 4.2252e-06*ThetaT^3+(0.00016785)*ThetaT^2+(-0.0089449)*ThetaT+(0.64)$
onseg od 220 do 225 -> $f(45) = -8.266e-06*ThetaT^3+(0.00023123)*ThetaT^2+(-0.0069495)*ThetaT+(0.6)$
opseg od 225 do 230 -> $f(46) = 2.8839e-05*ThetaT^3+(0.00010724)*ThetaT^2+(-0.0052572)*ThetaT+(0.57)$
$c_{1} = c_{2}$ on $c_{2} = c_{2}$ $c_{1} = c_{2}$ $c_{2} = c_{2}$ c_{2} $c_{2} = c_{2}$ c_{2} c
opseg of 235 do 240 -> $f(48) = -4.8171e-07*ThetaT^3+(-0.0010665)*ThetaT^2+(-0.0046554)*ThetaT^4(-0.0046554)*ThetaT+(-0.0046564)*ThetaT+(-0.0046564)*ThetaT+(-0.0046564)*ThetaT+(-0.0046666)*ThetaT+(-0.00466$
once of 2/0 to 2/5 , $f(40) = 0.0010003*That (-0.0010737)*That (-0.0010737)*That (-0.015357)*That (-0.01$
0 = 0 $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0.00000000000000000000000000000000$
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 $
$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 $
$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 $
opseg od 265 do 270 -> T(54) = 0.00006811*1neta1*3+(-0.0051768)*1neta1*2+(-0.032819)*1neta1+(0)
opseg og 2/0 do 2/5 -> T(55) = -0.00038984*1hetal^4(0.0048449)*1hetal^2+(-0.034478)*1hetal+(-0.21)
opseg od 2/5 do 280 -> t(56) = -6.87598-05*ThetaT^4(-0.0010027)*ThetaT^2+(-0.015268)*ThetaT+(-0.31)
opseg od 280 do 285 -> +(57) = 0.00026487*ThetaT^3+(-0.0020341)*ThetaT^2+(-0.030451)*ThetaT+(-0.42)
opseg od 285 do 290 -> f(58) = -3.074e-05*ThetaT^3+(0.001939)*ThetaT^2+(-0.030927)*ThetaT+(-0.59)
opseg od 290 do 295 -> f(59) = -0.00014191*ThetaT^3+(0.0014779)*ThetaT^2+(-0.013842)*ThetaT+(-0.7)
opseg od 295 do 300 -> f(60) = 0.00019839*ThetaT^3+(-0.00065077)*ThetaT^2+(-0.009706)*ThetaT+(-0.75)
opseg od 300 do 305 -> f(61) = -0.00025166*ThetaT^3+(0.0023251)*ThetaT^2+(-0.0013342)*ThetaT+(-0.79)
opseg od 305 do 310 -> f(62) = 8.8244e-05*ThetaT^3+(-0.0014498)*ThetaT^2+(0.0030427)*ThetaT+(-0.77)
opseg od 310 do 315 -> f(63) = -2.1316e-05*ThetaT^3+(-0.0001261)*ThetaT^2+(-0.0048366)*ThetaT+(-0.78)
opseg od 315 do 320 -> f(64) = -2.9795e-06*ThetaT^3+(-0.00044584)*ThetaT^2+(-0.0076963)*ThetaT+(-0.81)
opseg od 320 do 325 -> f(65) = 0.00011323*ThetaT^3+(-0.00049053)*ThetaT^2+(-0.012378)*ThetaT+(-0.86)

opseg	od	325	do	330	- >	f(66)	=	-0.00012996*ThetaT^3+(0.001208)*ThetaT^2+(-0.008791)*ThetaT+(-0.92)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	8.6591e-05*ThetaT^3+(-0.00074137)*ThetaT^2+(-0.0064579)*ThetaT+(-0.95)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	-5.6407e-05*ThetaT^3+(0.0005575)*ThetaT^2+(-0.0073773)*ThetaT+(-0.99)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	5.9039e-05*ThetaT^3+(-0.00028861)*ThetaT^2+(-0.0060329)*ThetaT+(-1.02)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	-1.9747e-05*ThetaT^3+(0.00059696)*ThetaT^2+(-0.0044911)*ThetaT+(-1.05)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	1.9949e-05*ThetaT^3+(0.00030076)*ThetaT^2+(-2.53e-06)*ThetaT+(-1.06)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	1.9949e-05*ThetaT^3+(0.0006)*ThetaT^2+(0.0045013)*ThetaT+(-1.05)

Izgled jednačina spline za nq=85.21

opseg	od	0 do	5	-> 1	F(1)) = -1	.62	222e-05*ThetaT^3+(0.00044333)*ThetaT^2+(0.012189)*ThetaT+(-1.1)
opseg	od	5 do	10) ->	f(2	2) = -	1.6	<pre>5222e-05*ThetaT^3+(0.0002)*ThetaT^2+(0.015406)*ThetaT+(-1.03)</pre>
opseg	od	10 do	o 1	.5 ->	> f((3) =	8.2	1111e-05*ThetaT^3+(-4.3333e-05)*ThetaT^2+(0.016189)*ThetaT+(-0.95)
opseg	od	15 do	o 2	20 - 2	> f((4) =	-6	.8222e-05*ThetaT^3+(0.0011733)*ThetaT^2+(0.021839)*ThetaT+(-0.86)
opseg	od	20 d	o 2	25 ->	> f((5) =	-0	.00012822*ThetaT^3+(0.00015001)*ThetaT^2+(0.028456)*ThetaT+(-0.73)
opseg	od	25 do	о 3	30 ->	> f((6) =	0.0	<pre>i012211*ThetaT^3+(-0.0017734)*ThetaT^2+(0.020339)*ThetaT+(-0.6)</pre>
opseg	od	30 d	о Э	35 -:	> f((7) =	-0	.0020363*ThetaT^3+(0.016543)*ThetaT^2+(0.094189)*ThetaT+(-0.39)
opseg	od	35 do	o 4	- 0	> f((8) =	0.0	30092391*ThetaT^3+(-0.014)*ThetaT^2+(0.1069)*ThetaT+(0.24)
opseg	od	40 do	o 4	l5 ->	> f((9) =	- 5	.9382e-05*ThetaT^3+(-0.00014177)*ThetaT^2+(0.036193)*ThetaT+(0.54)
opseg	od	45 do	o 5	50 ->	> f((10) =	3	.3618e-05*ThetaT^3+(-0.0010325)*ThetaT^2+(0.030322)*ThetaT+(0.71)
opseg	od	50 do	o 5	5 - 2	> f((11) =	4	.9092e-06*ThetaT^3+(-0.00052823)*ThetaT^2+(0.022518)*ThetaT+(0.84)
opseg	od	55 do	06	50 ->	> f((12) =	2	.6745e-05*ThetaT^3+(-0.00045459)*ThetaT^2+(0.017604)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	60 do	06	55 -:	> f((13) =	-3	<pre>3.1889e-05*ThetaT^3+(-5.3416e-05)*ThetaT^2+(0.015064)*ThetaT+(1.02)</pre>
opseg	od	65 do	o 7	/0 ->	> f((14) =	2	.081e-05*ThetaT^3+(-0.00053175)*ThetaT^2+(0.012138)*ThetaT+(1.09)
opseg	od	70 da	o 7	/5 -2	> f((15) =	2	.8648e-05*ThetaT^3+(-0.00021959)*ThetaT^2+(0.0083818)*ThetaT+(1.14)
opseg	od	75 do	o 8	30 - 3	> f((16) =	- 5	5.5401e-05*ThetaT^3+(0.00021012)*ThetaT^2+(0.0083344)*ThetaT+(1.18)
opseg	od	80 da	o 8	35 - 2	> f((17) =	3	.2956e-05*ThetaT^3+(-0.00062089)*ThetaT^2+(0.0062806)*ThetaT+(1.22)
opseg	od	85 do	0 9	90 ->	> f((18) =	3	.5756e-06*ThetaT^3+(-0.00012655)*ThetaT^2+(0.0025434)*ThetaT+(1.24)
opseg	od	90 de	0 9	95 - 2	> f((19) =	3	.2741e-05*ThetaT^3+(-7.2914e-05)*ThetaT^2+(0.001546)*ThetaT+(1.25)
opseg	od	95 do	o 1	.00 -	-> 1	F(20)	= -	<pre>.5.4541e-05*ThetaT^3+(0.0004182)*ThetaT^2+(0.0032725)*ThetaT+(1.26)</pre>
opseg	od	100 (do	105	- >	f(21)	=	2.5421e-05*ThetaT^3+(-0.0003999)*ThetaT^2+(0.003364)*ThetaT+(1.28)
opseg	od	105 0	do	110	- >	f(22)	=	3.2855e-05*ThetaT^3+(-1.8586e-05)*ThetaT^2+(0.0012715)*ThetaT+(1.29)
opseg	od	110 0	do	115	- >	f(23)	=	-7.6843e-05*ThetaT^3+(0.00047425)*ThetaT^2+(0.0035498)*ThetaT+(1.3)
opseg	od	115 (do	120	->	f(24)	=	3.4518e-05*ThetaT^3+(-0.0006784)*ThetaT^2+(0.0025291)*ThetaT+(1.32)
opseg	od	120 0	do	125	- >	f(25)	=	1.8773e-05*ThetaT^3+(-0.00016064)*ThetaT^2+(-0.0016661)*ThetaT+(1.32)
opseg	od	125 (do	130	->	f(26)	=	-2.9609e-05*ThetaT^3+(0.00012095)*ThetaT^2+(-0.0018645)*ThetaT+(1.31)
opseg	od	130 0	do	135	->	f(27)	=	1.9663e-05*ThetaT^3+(-0.00032318)*ThetaT^2+(-0.0028757)*ThetaT+(1.3)
opseg	od	135 (do	140	- >	f(28)	=	3.0958e-05*ThetaT^3+(-2.8237e-05)*ThetaT^2+(-0.0046328)*ThetaT+(1.28)
opseg	od	140 (do	145	->	f(29)	=	-6.3494e-05*ThetaT^3+(0.00043613)*ThetaT^2+(-0.0025933)*ThetaT+(1.26)
opseg	od	145 (do	150	- >	f(30)	=	6.3016e-05*ThetaT^3+(-0.00051627)*ThetaT^2+(-0.002994)*ThetaT+(1.25)
opseg	od	150 (do	155	- >	f(31)	=	-2.8572e-05*ThetaT^3+(0.00042897)*ThetaT^2+(-0.0034306)*ThetaT+(1.23)
opseg	od	155 (do	160	- >	f(32)	=	-2.8728e-05*ThetaT^3+(3.9083e-07)*ThetaT^2+(-0.0012837)*ThetaT+(1.22)
opseg	od	160 0	do	165	->	f(33)	=	6.3485e-05*ThetaT^3+(-0.00043053)*ThetaT^2+(-0.0034345)*ThetaT+(1.21)
opseg	od	165 0	do	170	->	f(34)	=	-6.5213e-05*ThetaT^3+(0.00052175)*ThetaT^2+(-0.0029784)*ThetaT+(1.19)
opseg	od	170 (do	175	->	f(35)	=	3.7367e-05*ThetaT^3+(-0.00045645)*ThetaT^2+(-0.0026519)*ThetaT+(1.18)
opseg	od	175 (do	180	- >	f(36)	=	-4.2559e-06*ThetaT^3+(0.00010406)*ThetaT^2+(-0.0044139)*ThetaT+(1.16)
opseg	od	180 0	do	185	->	f(37)	=	-2.0344e-05*ThetaT^3+(4.022e-05)*ThetaT^2+(-0.0036925)*ThetaT+(1.14)
opseg	od	185 (do	190	- >	f(38)	=	5.631e-06*ThetaT^3+(-0.00026494)*ThetaT^2+(-0.0048161)*ThetaT+(1.12)
opseg	od	190 (do	195	->	f(39)	=	-2.1803e-06*ThetaT^3+(-0.00018047)*ThetaT^2+(-0.0070431)*ThetaT+(1.09)
opseg	od	195 (do	200	->	f(40)	=	-7.691e-05*ThetaT^3+(-0.00021318)*ThetaT^2+(-0.0090114)*ThetaT+(1.05)
opseg	od	200 (do	205	->	f(41)	=	0.00014982*ThetaT^3+(-0.0013668)*ThetaT^2+(-0.016911)*ThetaT+(0.99)
opseg	od	205 (do	210	->	f(42)	=	-4.2369e-05*ThetaT^3+(0.00088047)*ThetaT^2+(-0.019343)*ThetaT+(0.89)
opseg	od	210 (do	215	->	f(43)	=	-6.0345e-05*ThetaT^3+(0.00024494)*ThetaT^2+(-0.013716)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	215 (do	220	- >	f(44)	=	0.00012375*ThetaT^3+(-0.00066024)*ThetaT^2+(-0.015793)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	220 0	do	225	->	f(45)	=	-0.00011465*ThetaT^3+(0.001196)*ThetaT^2+(-0.013114)*ThetaT+(0.66)
opseg	od	225 (do	230	->	f(46)	=	1.4864e-05*ThetaT^3+(-0.0005238)*ThetaT^2+(-0.0097526)*ThetaT+(0.61)
opseg	od	230 (do	235	->	f(47)	=	0.0001352*ThetaT^3+(-0.00030083)*ThetaT^2+(-0.013876)*ThetaT+(0.55)
opseg	od	235 (do	240	->	f(48)	=	-7.5647e-05*ThetaT^3+(0.0017271)*ThetaT^2+(-0.0067444)*ThetaT+(0.49)
opseg	od	240 (do	245	- >	f(49)	=	-7.2607e-05*ThetaT^3+(0.0005924)*ThetaT^2+(0.0048532)*ThetaT+(0.49)
opseg	od	245 (do	250	- >	f(50)	=	4.6074e-05*ThetaT^3+(-0.0004967)*ThetaT^2+(0.0053317)*ThetaT+(0.52)
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	-3.1691e-05*ThetaT^3+(0.00019441)*ThetaT^2+(0.0038202)*ThetaT+(0.54)
opseg	od	255 (do	260	->	f(52)	=	6.8836e-07*ThetaT^3+(-0.00028095)*ThetaT^2+(0.0033875)*ThetaT+(0.56)
opseg	od	260 0	do	265	->	f(53)	=	2.8937e-05*ThetaT^3+(-0.00027062)*ThetaT^2+(0.00062968)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	265 (do	270	- >	f(54)	=	-3.6437e-05*ThetaT^3+(0.00016344)*ThetaT^2+(9.3751e-05)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	270 (do	275	->	f(55)	=	3.6812e-05*ThetaT^3+(-0.00038312)*ThetaT^2+(-0.0010047)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	275 (do	280	->	f(56)	=	-0.00011081*ThetaT^3+(0.00016906)*ThetaT^2+(-0.002075)*ThetaT+(0.56)
opseg	od	280 (do	285	- >	f(57)	=	8.6429e-05*ThetaT^3+(-0.0014931)*ThetaT^2+(-0.0086952)*ThetaT+(0.54)
opseg	od	285 (do	290	->	f(58)	=	8.5094e-05*ThetaT^3+(-0.00019666)*ThetaT^2+(-0.017144)*ThetaT+(0.47)
opseg	od	290 (do	295	->	f(59)	=	-0.0010668*ThetaT^3+(0.0010797)*ThetaT^2+(-0.012729)*ThetaT+(0.39)
opseg	od	295 (do	300	->	f(60)	=	0.0019421*ThetaT^3+(-0.014922)*ThetaT^2+(-0.081941)*ThetaT+(0.22)
opseg	od	300 (do	305	->	f(61)	=	-0.0010217*ThetaT^3+(0.01421)*ThetaT^2+(-0.085505)*ThetaT+(-0.32)
opseg	od	305 (do	310	->	f(62)	=	0.00014464*ThetaT^3+(-0.0011158)*ThetaT^2+(-0.020037)*ThetaT+(-0.52)
opseg	od	310 (do	315	->	f(63)	=	-3.6854e-05*ThetaT^3+(0.0010537)*ThetaT^2+(-0.020347)*ThetaT+(-0.63)
opseg	od	315 (do	320	->	f(64)	=	-7.7219e-05*ThetaT^3+(0.00050091)*ThetaT^2+(-0.012574)*ThetaT+(-0.71)
opseg	od	320 (do	325	->	f(65)	=	0.00010573*ThetaT^3+(-0.00065738)*ThetaT^2+(-0.013356)*ThetaT+(-0.77)
opseg	od	325 (do	330	->	f(66)	=	-0.00010571*ThetaT^3+(0.0009286)*ThetaT^2+(-0.012)*ThetaT+(-0.84)
opseg	od	330 (do	335	->	f(67)	=	7.7101e-05*ThetaT^3+(-0.00065702)*ThetaT^2+(-0.010642)*ThetaT+(-0.89)
opseg	od	335 (do	340	->	f(68)	=	-4.2695e-05*ThetaT^3+(0.00049949)*ThetaT^2+(-0.01143)*ThetaT+(-0.95)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	1.3679e-05*ThetaT^3+(-0.00014093)*ThetaT^2+(-0.0096373)*ThetaT+(-1)
opseg	od	345 (do	350	->	f(70)	=	-1.2021e-05*ThetaT^3+(6.4249e-05)*ThetaT^2+(-0.010021)*ThetaT+(-1.05)
opseg	od	350 (do	355	->	f(71)	=	0.0001144*ThetaT^3+(-0.00011606)*ThetaT^2+(-0.01028)*ThetaT+(-1.1)
opseg	od	355 (do	360	->	f(72)	=	0.0001144*ThetaT^3+(0.0016)*ThetaT^2+(-0.0028601)*ThetaT+(-1.14)

 $\begin{array}{l} \label{eq:starseq} Izgled jednačina spline za nq = 96.85 \\ \mbox{opseg od 0 do 5 -> f(1) = 8.115e-06*ThetaT^3+(-0.00012172)*ThetaT^2+(0.012406)*ThetaT+(-0.74) \\ \mbox{opseg od 5 do 10 -> f(2) = 8.115e-06*ThetaT^3+(2.4259e-18)*ThetaT^2+(0.011797)*ThetaT+(-0.68) \\ \mbox{opseg od 10 do 15 -> f(3) = 3.9425e-05*ThetaT^3+(0.00012172)*ThetaT^2+(0.012406)*ThetaT+(-0.62) \\ \mbox{opseg od 15 do 20 -> f(4) = -8.5815e-05*ThetaT^3+(0.0007131)*ThetaT^2+(0.01658)*ThetaT+(-0.55) \\ \mbox{opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00022384*ThetaT^3+(-0.00057413)*ThetaT^2+(0.017275)*ThetaT+(-0.46) \\ \mbox{opseg od 25 do 30 -> f(6) = 0.00039047*ThetaT^3+(0.0027834)*ThetaT^2+(0.085441)*ThetaT+(-0.36) \\ \mbox{opseg od 30 do 35 -> f(7) = -0.0013857*ThetaT^3+(0.0086405)*ThetaT^2+(0.085441)*ThetaT+(-0.1) \\ \end{array}$
opseg od 35 do 40 -> f(8) = 0.0010724*ThetaT^3+(-0.012145)*ThetaT^2+(0.067917)*ThetaT+(0.37)
$p_{1} = 0$ $p_{2} = 0$ p_{2
$\int \int $
(0,0) = 0 $(0,0) = 0$ $(10) = 0.000000000000000000000000000000000$
opseg ou 50 00 55 -> $\tau(11) = -0.00050/54^{+}$ interal "5+(0.0021255)* interal "2+(0.021055)* interal +(0.81)
opseg od 55 do 60 -> $\tau(12) = 0.00036/31^{10} \text{Intral}^{-0.00248/1}^{+10} \text{Intral}^{-2}(0.019253)^{+10} \text{Intral}^{+}(0.93)$
opseg od 60 do 65 -> $f(13) = -0.00044171*$ heta $1^{-3}+(0.0030225)*$ heta $1^{-2}+(0.02193)*$ heta $1+(1.01)$
opseg od 65 do 70 -> +(14) = 0.00035952*ThetaT^3+(-0.0036031)*ThetaT^2+(0.019027)*ThetaT+(1.14)
opseg od 70 do 75 -> f(15) = -0.00027637*ThetaT^3+(0.0017897)*ThetaT^2+(0.0099607)*ThetaT+(1.19)
opseg od 75 do 80 -> f(16) = 0.00026597*ThetaT^3+(-0.0023559)*ThetaT^2+(0.00713)*ThetaT+(1.25)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = -0.00014752*ThetaT^3+(0.0016337)*ThetaT^2+(0.0035193)*ThetaT+(1.26)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 4.1056e-06*ThetaT^3+(-0.00057906)*ThetaT^2+(0.0087927)*ThetaT+(1.3)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = 5.1097e-05*ThetaT^3+(-0.00051748)*ThetaT^2+(0.00331)*ThetaT+(1.33)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = -4.8495e-05*ThetaT^3+(0.00024898)*ThetaT^2+(0.0019675)*ThetaT+(1.34)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = -1.7116e-05*ThetaT^3+(-0.00047845)*ThetaT^2+(0.00082015)*ThetaT+(1.35)
opseg od 105 do 110 -> f(22) = 0.00011696*ThetaT^3+(-0.00073519)*ThetaT^2+(-0.0052481)*ThetaT+(1.34)
opseg od 110 do 115 -> f(23) = -0.00013073*ThetaT^3+(0.0010192)*ThetaT^2+(-0.0038279)*ThetaT+(1.31)
opseg od 115 do 120 -> f(24) = 8.5948e-05*ThetaT^3+(-0.00094169)*ThetaT^2+(-0.0034403)*ThetaT+(1.3)
opseg od 120 do 125 -> f(25) = -5.3066e-05*ThetaT^3+(0.00034754)*ThetaT^2+(-0.006411)*ThetaT+(1.27)
opseg od 125 do 130 -> f(26) = 4.6316e-05*ThetaT^3+(-0.00044846)*ThetaT^2+(-0.0069156)*ThetaT+(1.24)
opseg od 130 do 135 -> f(27) = 2.7801e-05*ThetaT^3+(0.00024629)*ThetaT^2+(-0.0079265)*ThetaT+(1.2)
opseg od 135 do 140 -> f(28) = 2.4808e-06*ThetaT^3+(0.0006633)*ThetaT^2+(-0.0033785)*ThetaT+(1.17)
opseg od 140 do 145 -> f(29) = -3.7724e-05*ThetaT^3+(0.00070051)*ThetaT^2+(0.0034405)*ThetaT+(1.17)
opseg od 145 do 150 -> f(30) = -9.1585e-05*ThetaT^3+(0.00013465)*ThetaT^2+(0.0076164)*ThetaT+(1.2)
opseg od 150 do 155 -> f(31) = 8.4065e-05*ThetaT^3+(-0.0012391)*ThetaT^2+(0.002094)*ThetaT+(1.23)
opseg od 155 do 160 -> f(32) = -4.6731e-06*ThetaT^3+(2.1844e-05)*ThetaT^2+(-0.0039924)*ThetaT+(1.22)
opseg od 160 do 165 -> f(33) = 1.4628e-05*ThetaT^3+(-4.8252e-05)*ThetaT^2+(-0.0041244)*ThetaT+(1.2)
opseg od 165 do 170 -> f(34) = -5.3838e-05*ThetaT^3+(0.00017116)*ThetaT^2+(-0.0035099)*ThetaT+(1.18)
opseg od 170 do 175 -> f(35) = 4.0725e-05*ThetaT^3+(-0.00063641)*ThetaT^2+(-0.0058361)*ThetaT+(1.16)
opseg od 175 do 180 -> f(36) = 5.094e-05*ThetaT^3+(-2.5539e-05)*ThetaT^2+(-0.0091458)*ThetaT+(1.12)
opseg od 180 do 185 -> f(37) = -0.00016448*ThetaT^3+(0.00073856)*ThetaT^2+(-0.0055807)*ThetaT+(1.08)
opseg od 185 do 190 -> f(38) = 0.000127*ThetaT^3+(-0.0017287)*ThetaT^2+(-0.010531)*ThetaT+(1.05)
opseg od 190 do 195 -> f(39) = 5.6491e-05*ThetaT^3+(0.00017627)*ThetaT^2+(-0.018294)*ThetaT+(0.97)
opseg od 195 do 200 -> $f(40) = -0.00011296*ThetaT^3+(0.0010236)*ThetaT^2+(-0.012294)*ThetaT+(0.89)$
opseg od 200 do 205 -> f(41) = 7.5362e-05*ThetaT^3+(-0.00067081)*ThetaT^2+(-0.01053)*ThetaT+(0.84)
opseg od 205 do 210 -> f(42) = -2.8484e-05*ThetaT^3+(0.00045961)*ThetaT^2+(-0.011586)*ThetaT+(0.78)
opseg od 210 do 215 -> f(43) = 3.8574e-05*ThetaT^3+(3.2355e-05)*ThetaT^2+(-0.0091261)*ThetaT+(0.73)
opseg od 215 do 220 -> f(44) = -4.5812e-05*ThetaT^3+(0.00061097)*ThetaT^2+(-0.0059095)*ThetaT+(0.69)
opseg od 220 do 225 -> $f(45) = 6.4676e-05*ThetaT^3+(-7.622e-05)*ThetaT^2+(-0.0032358)*ThetaT+(0.67)$
opseg od 225 do 230 -> f(46) = 2.711e-05*ThetaT^3+(0.00089391)*ThetaT^2+(0.00085268)*ThetaT+(0.66)
onset of 230 do 235 -> $f(47) = -0.00033312*ThetaT^3+(0.001306)*ThetaT^2+(0.011825)*ThetaT+(0.69)$
onseg of 235 do 240 -> $f(48) = 0.00034536*ThetaT^3+(-0.0036962)*ThetaT^2+(-0.00015298)*ThetaT+(0.74)$
opseg od 240 do 245 -> f(49) = -0.0001683*ThetaT^3+(0.0014841)*ThetaT^2+(-0.011213)*ThetaT+(0.69)
onseg of 245 do 250 \rightarrow f(50) = 8.786e-05*ThetaT^3(-0.0010404)*ThetaT^2(-0.0089945)*ThetaT(0.65)
onset of 250 do 255 -> $f(51) = -2.3137e-05*ThetaT^3+(0.00027749)*ThetaT^2+(-0.01280)*ThetaT+(0.59)$
onseg of 255 do 260 -> $f(52) = 0.00016469*ThetaT^3+(-6.9558e-05)*ThetaT^2+(-0.011769)*ThetaT+(0.53)$
onseg of 260 do 265 -> $f(53) = -0.0014356*ThetaT^2+(0.0024007)*ThetaT^2+(-0.00011346)*ThetaT+(0.49)$
onseg od 265 do 270 $-$ 5 f(54) = 0.0024578*ThetaT^3+(-0.019133)*ThetaT^2+(-0.083777)*ThetaT+(0.37)
(3) (3)
(0, 0, 0) = 0 $(0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) = 0$ $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) = 0$
0 and 0 a
$0 p_{2} = 0 (20 + 0.2) (-0.0) = 0.0003507 \text{ Theta} (-0.0045308) (-0.045308) (-0.017) (-0.0$
$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 $
ansag of 295 do 295 $(30) = 0.00026371$ hotal 3(2) (0.002037) inclus 2((0.002702)) inclus (0.00270))
$0 p_{Seg}$ (d 200 d 205 - 1 (60) - 0 000211/708 metal 1 (2002255) metal 2 (2002655) metal (200765) metal (200
$c_{1} = c_{2} = c_{2$
$\sigma_{12} = 0.033 = 0.0310 = 7.0(2) = 5.57000-05.00000000000000000000000000000$
opset of 315 do 320 \sim f(d) = 3.055 \sim inclai 57(0.00040050) inclai 27(-0.0003) inclai (2.0000000) inclai (2.0000000000) inclai (2.000000000000000000000000000000000000
$ \begin{array}{c} \text{Opseg of 310 do 300 - 7 + (04) = -0.00010715 + \text{inicial } 7(0.0000001) + \text{inicial } 21(-0.004122) + \text{inicial}(21(-1.02)) \\ Opseg of 320 do 300 - 7 + (04) = -7 + (04) - ($
$ \frac{1}{2} = 1$
$\sigma_{12} = 0$ 320 $\sigma_{12} = 0$ 320 $\sigma_{11} = 0$ $\sigma_{12} = 0$ σ_{1
$\sigma_{125} = 0.35 = 0.35 = 7.1(07) = 3.4003 = 00.110 = 0.4003 = 0.0001038)$ (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100001038) (100001038) (100000203) (100000203) (1001011 = 1.400) (100001038) (100000203) (1000000203) (1000000203) (1000000203) (1000000203) (1000000203) (1000000203) (1000000000000000000000000000000000000
$\sigma_{pseg} = 0.316 = 0.346 = 0.1(00) = -2.532.5 = 00 \text{ initial 37}(0.00021330) \text{ initial 27}(0.0002013) \text{ initial 1}(-1.00)$
$\sigma_{12} = \sigma_{12} = \sigma$
$a_{1} = 0$ $a_{2} = 0$ $a_{2} = 0$ $a_{1} = 0$ $a_{2} = 0$ a_{2
$G_{12} = 0.35 = 0.35 = 7.1(71) = -0.00010222 = inttai = 7.0(0.0024303) = inttai = 27.0(0.02033) = inttai = (-0.50)$
$0_{12} = 0$

Izgled jednačina spline za nq=100.56

opseg od 0 do 5 -> f(1) = -6.8688e-05*ThetaT^3+(0.0018303)*ThetaT^2+(-0.0014344)*ThetaT+(-1.26)
opseg od 5 do 10 -> f(2) = -6.8688e-05*ThetaT^3+(0.0008)*ThetaT^2+(0.011717)*ThetaT+(-1.23)
opseg od 10 do 15 -> f(3) = 2.3441e-05*ThetaT^3+(-0.00023032)*ThetaT^2+(0.014566)*ThetaT+(-1.16)
opseg od 15 do 20 -> f(4) = 5.4925e-05*ThetaT^3+(0.00012129)*ThetaT^2+(0.01402)*ThetaT+(-1.09)
opseg od 20 do 25 -> f(5) = -8.3141e-05*ThetaT^3+(0.00094517)*ThetaT^2+(0.019353)*ThetaT+(-1.01)
opseg od 25 do 30 -> f(6) = 3.764e-05*ThetaT^3+(-0.00030195)*ThetaT^2+(0.022569)*ThetaT+(-0.9)
opseg od 30 do 35 -> f(7) = 0.0015326*ThetaT^3+(0.00026265)*ThetaT^2+(0.022372)*ThetaT+(-0.79)
opseg od 35 do 40 -> f(8) = -0.003128*ThetaT^3+(0.023251)*ThetaT^2+(0.13994)*ThetaT+(-0.48)
opseg od 40 do 45 -> f(9) = 0.0016193*ThetaT^3+(-0.023668)*ThetaT^2+(0.13786)*ThetaT+(0.41)
opseg od 45 do 50 -> f(10) = -6.9173e-05*ThetaT^3+(0.00062115)*ThetaT^2+(0.022624)*ThetaT+(0.71)
opseg od 50 do 55 -> f(11) = 1.7409e-05*ThetaT^3+(-0.00041645)*ThetaT^2+(0.023647)*ThetaT+(0.83)
opseg od 55 do 60 -> f(12) = -4.6074e-07*ThetaT^3+(-0.00015533)*ThetaT^2+(0.020788)*ThetaT+(0.94)
opseg od 60 do 65 -> f(13) = -1.5566e-05*ThetaT^3+(-0.00016224)*ThetaT^2+(0.0192)*ThetaT+(1.04)
opseg od 65 do 70 -> f(14) = -1.7277e-05*ThetaT^3+(-0.00039572)*ThetaT^2+(0.016411)*ThetaT+(1.13)
opseg od 70 do 75 -> f(15) = 8.4674e-05*ThetaT^3+(-0.00065488)*ThetaT^2+(0.011158)*ThetaT+(1.2)
opseg od 75 do 80 -> f(16) = -8.1417e-05*ThetaT^3+(0.00061523)*ThetaT^2+(0.010959)*ThetaT+(1.25)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = 8.0995e-05*ThetaT^3+(-0.00060603)*ThetaT^2+(0.011005)*ThetaT+(1.31)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = -8.2562e-05*ThetaT^3+(0.00060889)*ThetaT^2+(0.01102)*ThetaT+(1.36)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = 8.9253e-05*ThetaT^3+(-0.00062954)*ThetaT^2+(0.010916)*ThetaT+(1.42)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = -0.00011445*ThetaT^3+(0.00070926)*ThetaT^2+(0.011315)*ThetaT+(1.47)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = 0.00012855*ThetaT^3+(-0.0010075)*ThetaT^2+(0.0098237)*ThetaT+(1.53)
opseg od 105 do 110 -> f(22) = -7.9759e-05*ThetaT^3+(0.00092078)*ThetaT^2+(0.0093901)*ThetaT+(1.57)
opseg od 110 do 115 -> f(23) = 3.0484e-05*ThetaT^3+(-0.00027561)*ThetaT^2+(0.012616)*ThetaT+(1.63)
opseg od 115 do 120 -> f(24) = -4.2176e-05*ThetaT^3+(0.00018165)*ThetaT^2+(0.012146)*ThetaT+(1.69)

opseg	od	120	do	125	->	f(25)	=	5.822e-05*ThetaT^3+(-0.00045099)*ThetaT^2+(0.010799)*ThetaT+(1.75)
opseg	od	125	do	130	->	f(26)	=	-0.0001107*ThetaT^3+(0.00042231)*ThetaT^2+(0.010656)*ThetaT+(1.8)
opseg	od	130	do	135	->	f(27)	=	0.0001446*ThetaT^3+(-0.0012383)*ThetaT^2+(0.0065763)*ThetaT+(1.85)
opseg	od	135	do	140	->	f(28)	=	-0.00014769*ThetaT^3+(0.00093071)*ThetaT^2+(0.0050386)*ThetaT+(1.87)
opseg	od	140	do	145	->	f(29)	=	0.00012615*ThetaT^3+(-0.0012846)*ThetaT^2+(0.0032692)*ThetaT+(1.9)
opseg	od	145	do	150	->	f(30)	=	-0.00011691*ThetaT^3+(0.00060764)*ThetaT^2+(-0.0001155)*ThetaT+(1.9)
opseg	od	150	do	155	->	f(31)	=	0.00010149*ThetaT^3+(-0.001146)*ThetaT^2+(-0.0028072)*ThetaT+(1.9)
opseg	od	155	do	160	->	f(32)	=	-0.00012903*ThetaT^3+(0.00037629)*ThetaT^2+(-0.0066557)*ThetaT+(1.87)
opseg	od	160	do	165	->	f(33)	=	1.4644e-05*ThetaT^3+(-0.0015592)*ThetaT^2+(-0.01257)*ThetaT+(1.83)
opseg	od	165	do	170	->	f(34)	=	0.00015046*ThetaT^3+(-0.0013395)*ThetaT^2+(-0.027064)*ThetaT+(1.73)
opseg	od	170	do	175	->	f(35)	=	-0.00021647*ThetaT^3+(0.0009173)*ThetaT^2+(-0.029175)*ThetaT+(1.58)
onseg	od	175	do	180	->	f(36)	=	0.00039541*ThetaT^3+(-0.0023297)*ThetaT^2+(-0.036237)*ThetaT+(1.43)
opseg	od	180	do	185	->	f(37)	=	-0.00032517*ThetaT^3+(0.0036014)*ThetaT^2+(-0.029878)*ThetaT+(1.24)
opseg	od	185	do	190	->	f(38)	=	0.00018527*ThetaT^3+(-0.0012761)*ThetaT^2+(-0.018251)*ThetaT+(1.14)
opseg	od	190	do	195	->	f(39)	=	-9.5911e-05*ThetaT^3+(0.001503)*ThetaT^2+(-0.017117)*ThetaT+(1.04)
onseg	od	195	do	200	->	f(40)	=	-4.1625e-05*ThetaT^3+(6.4283e-05)*ThetaT^2+(-0.0092808)*ThetaT+(0.98)
onseg	od	200	do	205	- >	f(41)	=	$0.00010241*$ ThetaT^3+(-0.00056009)*ThetaT^2+(-0.01176)*ThetaT+(0.93)
onseg	ho	205	do	210	- >	f(42)	=	-0 00020802*ThetaT^3+(0 00097607)*ThetaT^2+(-0 0096799)*ThetaT+(0 87)
onseg	od	210	do	215	->	f(42)	=	0.00024966*ThetaT^3+(-0.0021442)*ThetaT^2+(-0.01552)*ThetaT+(0.82)
onseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	-0.0001506*ThetaT^3+(0.0016006)*ThetaT^2+(-0.018238)*ThetaT+(0.72)
onseg	od	220	do	225	- >	f(45)	=	3.2763e-05*ThetaT^3+(-0.00065842)*ThetaT^2+(-0.013527)*ThetaT+(0.65)
onseg	ho	225	do	230	- >	f(46)	=	1 9552e-05*ThetaT^3+(-0 00016697)*ThetaT^2+(-0 017654)*ThetaT+(0 57)
onseg	od	230	do	235	->	f(40)	=	-3.0972e-05*ThetaT^3+(0.00012631)*ThetaT^2+(-0.017857)*ThetaT+(0.48)
onseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	0.00010434*ThetaT^3+(-0.00033827)*ThetaT^2+(-0.018917)*ThetaT+(0.39)
onseg	ho	240	do	245	- >	f(49)	=	-0 00022637*ThetaT^3+(0 0012268)*ThetaT^2+(-0 014475)*ThetaT+(0 3)
onseg	od	245	do	250	- 5	f(50)	_	0.00022037 filecul $3((0.0012200)$ filecul $2((0.014473)$ filecul $(0.3)0.00032114*ThetaT^3+(-0.0021688)*ThetaT^2+(-0.019185)*ThetaT+(0.23)$
onseg	od	250	do	255	- 5	f(50)	_	-0 00057819*ThetaT^3+(0 0026483)*ThetaT^2+(-0 016787)*ThetaT+(0 12)
onsog	od	255	do	260	Ś	f(52)	_	$0.00033161*ThetaT^3+(-0.0020403)*ThetaT^2+(-0.033668)*ThetaT+(0.03)$
onseg	od	260	do	265	->	f(52)	_	0.00023101 metal $31(-0.0000243)$ metal $21(-0.000000)$ metal (0.03)
onseg	od	265	do	270	- 5	f(54)	_	-0 00043864*ThetaT^3+(0 006626)*ThetaT^2+(-0 056164)*ThetaT+(-0 63)
onseg	od	270	do	275	- 5	f(55)	_	$0.00010279*ThetaT^3+(4.6429e-05)*ThetaT^2+(-0.022802)*ThetaT+(-0.8)$
onsog	od	275	do	280	Ś	f(56)	_	$-0.00013253*The+aT^3+(0.0015883)*The+aT^2+(-0.011628)*The+aT+(-0.0)$
onsog	od	280	do	285		f(50)		$ 0.00010732*The+aT^3+(-0.00030962)*The+aT^2+(-0.0000000) ThetaT(-0.0000000000) The+aT^2+(-0.00000000000000000000000000000000000$
onseg	od	285	do	200	->	f(58)	_	$-5.6756e-05*ThetaT^3+(0.0012102)*ThetaT^2+(-0.0000045) ThetaT+(-0.99)$
onsog	od	200	do	295		f(50)	_	$-0.0001203*ThetaT^3+(0.0012102)$ ThetaT 21(-0.0040321) ThetaT(-0.00)
onsog	od	295	do	300		f(60)		0.0001205 (0.00055000) (0.00055000) (0.0052152) (0.0052) (0.0052152) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.005252) (0.0052)
onsog	od	300	do	305		f(61)	_	-0.00013735 ThetaT $31(-0.0014350)$ ThetaT $21(-0.0022200)$ ThetaT (-0.30)
opseg	od	205	do	210		f(62)		= 0.0001115 metal 51(0.00002502) metal 21(-0.0005500) metal (-1.01)
opseg	od	210	do	215		f(62)	_	$-6.62260.07*ThotaT^2+(-2.92450-05)*ThotaT^2+(-0.012942)*ThotaT^2+(-1.1)$
onseg	od	315	do	320		f(64)	_	$1 \sqrt{6090} = 05*ThotaT^{2}(-3 81790 = 05)*ThotaT^{2}(-0.013042)^{ThetaT+(-1.1)}$
opseg	od	220	do	220	- (f(0+)	_	$\frac{1.4005e^{-05}}{1.4005e^{-05}} = \frac{1.175e^{-05}}{1.4005e^{-05}} = \frac{1.175e^{-05}}{1.4005e^{-05}}$
opseg	od	220	do	220	->	1(05) £(cc)	_	$2.22200 - 05^{110}$ (0.00010090) 110 (d1~2+(-0.01340) 110 (d1+(-1.24))
opseg	ou	222	do	225	->	f(00)	=	-2.35120-05'THELd1"5+(0.00051434)'THELd1"2+(-0.0053633)'THELd1+(-1.3)
opseg	ou	330	do	335	->	T(0/)	=	-8.1/94e-06*Inetal~3+(0.0001010/)*Inetal~2+(-0.00000039)*Inetal+(-1.34)
opseg	bu	335	do	340 245	->	r(08)	=	5.0229E-03 INELal 3+(3.89/8E-03) INELal 2+(-0.000036E) INELal+(-1.3/) E 67270 βE*ThotoTA2(/ β βββ2042) *ThotoTA2(/ β βββ0026E) *ThotoTA2(/ 1.20)
opseg	00	340	do	345	->	F(70)	=	-3.0/3/E-03 INELAL'3+(0.00008242)*INELAL'2+(-0.000099365)*INETAL+(-1.39)
opseg	od	345	do	350	->	r(70) £(71)	=	1.20F60.0F*ThotoTA2.(0.00010216)*ThotoTA2.(0.00052/52)*Theta1+(-1.38)
opseg	od	350	do	300	->	r(/1)	=	1.30566.05*ThetaTA3+(0.00019210)*THELdI''2+(0.00040920)*THECdI+(-1.30)
opseg	od	355	ao	360	- >	т(/2)	=	1.3850e-05"Inetal^3+(0.0004)*Inetal^2+(0.00/6536)*Inetal+(-1.33)

6.3.5 Nalaženje analitičke veze postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive Wh karakteristike za osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980) (Numerički model 2 – novi nq-ovi). – Varijanta 5

U narednom dijelu teksta opisani su koraci dobijanja razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)) Varijanta 5 u programu Matlab, kod ovog numeričkog modela za dobijanje jednačine Univerzalne Suterove Krive koristio se Kubni splajn iz programa Matlab. U prvom koraku se kroz svaku od osam krivih za osam modela pumpi (nq = 23.3 (25) [2]; nq = 41.81 [6]; nq = 64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6], nq = 100.56 [6], iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996) [6]; Donsky, B. (1961) [2]; Brown, R.J., Rogers, D.C. (1980) [5]) provučeno ukupno 72 Kubna splajna, pošto je opseg svake od ovih osam krivih od 0° do 360°, i ovaj opseg je podijeljen na 72 dionice sa korakom 5°, i kroz svaku od ovih dionica krivih provučen je Kubni splajn. U drugom koraku u razvijenom Numeričkom modelu 2 u programu Matlab očitane su vrijednosti koeficijenata (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi (ukupno 288 vrijednosti koeficijenata za jednu krivu, a ukupno 2.304 vrijednosti koeficijenata za osam krivih) a zatim su dobijene vrijednosti za koeficijente za svaku od osam krivih osam nq-ova modela pumpi eksportovane iz programa Matlab u Exsel tabele. U trećem koraku na 288 dijagrama sa kordinatama koeficijenti – ng (288 koeficijenata, 8 ng-ova), unesene su vrijednosti očitanih koeficijenata iz razvijenog Numeričkog modela 2 u programu Matlab (ukupno 2.304 vrijednosti

koeficijenata za osam krivih modela pumpi), imamo 288 dijagrama iz razloga što je opseg svake od ovih osam krivih od 0° do 360°, i ovaj opseg je podijeljen na 72 dionice sa korakom 5°, i na svakoj od ovih dionica je provučen kubni splajn koji ima četiri koeficijenta, pa kada se grupišu vrijednosti za svaki od ova četiri koeficijenta za svaku od ovih 72 dionice za osam krivih modela pumpi, dobije se 288 dijagrama. U četvrtom koraku na svakom od 288 dijagrama sa kordinatama (koeficijenti - nq) kroz tačke koje se nalaze na ovim dijagramima provlače se polinomi trećeg reda u kojima je dominantno ng. A zatim se ubacuju vrijednsoti za osam novih nq-ova pumpi (čije su vrijednosti dobijene kao srednje vrijednosti između dva susjedna modela pumpi) u navedene matematičke jednačine za koeficijente u razvijenom Numeričkom modelu 2 u program Matlab i izračunavaju se vrijednosti za 2.304 koeficijenta koji se zatim uvrste u prethodno navedene jednačine Kubnih splajnova za svaku od 72 dionice na osam krivih modela pumpi u kojim dominira ugao θ , i nakon toga se vrši provjera sa kojom tačnošću se dobijaju vrijednosti krivih za osam novih nq-ova pumpi dobijenih iz Univerzalne Jednačine i upoređuju se ove krive sa krivima osam nq – ova modela pumpi (dobijenih na laboratorijskim mjerenjima), i vidimo koliko se dobri rezultati dobijaju i sa kolikom se tačnošću poklapaju ove krive a što je i prikazano na narednim dijagramima. Takođe će biti priložena četiri dijagrama na kojima će biti prikazane vrijednosti za četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i što je veoma važno vidjeće se karakter ovih koeficijenata u zavisnosti od nq. Nakon svega prethodno navedenog iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) u programu Matlab dobijena je Univerzalna Jednačina, koja se sastoji od matematičkih jednačina – Kubnih splajnova na svakoj od 72 dionice svake od osam krivih nq-ova modela pumpi u kojima dominira ugao θ , i polinoma trećeg stepena za svaki od 288 koeficijenata (koji figurušu u 72 Kubna splajna) u kojima dominira nq. Takođe u razvijenom Numeričkom modelu 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) isprogramiran je dio koji omogućava da se u dobijenu Univerzalnu Jednačinu ubacuju vrijednosti za nove nq-ove pumpi i da se dobijene krive za nove nq-ove pumpi upoređuju sa krivima osam nq-ova modela pumpi (dobijenih na mjerenjima u laboratoriji) što se može vidjeti na narednim dijgramima.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi opciju Kubni splajn, i jako je važna što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira *Numerički model 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) Varijanta 5* sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) Varijanta 5 u programu Matlab prikazani na sledećim dijagramima na Slikama 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri, i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim nq, i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.



Slika 105. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 24.3 (25), nq = 41.81, i jedna kriva za nq = 33.07 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn

(novi nq-ovi) u programu Matlab.



Slika 106. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 41.81, nq = 64 i jedna kriva za nq = 52.92 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) u programu Matlab.



Slika 107. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 64, nq = 71.97 i jedna kriva za nq = 68.00 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) u programu Matlab.



Slika 108. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 71.97, nq = 76.21 i jedna kriva za nq = 74.09 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) u programu Matlab.



Slika 109. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J, Rogers, D.C. (1980)), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 76.21, nq = 85.21 i jedna kriva za nq = 80.71 dobijena iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) u programu Matlab.



Slika 110. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, *iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)*), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 85.21, nq = 96.85 i jedna kriva za nq = 91.03 dobijena iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)* u programu Matlab.



Slika 111. Dijagram sa osam Suterovih krivih za osam nq pumpi (nq = 24.3 (25), nq = 41.81, nq = 64, nq = 71.97, nq = 76.21, nq = 85.21. nq = 96.85, nq = 100.56, *iz radova - Thorley, D. R. & Chaudry, A. (1996); Donsky, B. (1961); Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980)*), sa izdvojene tri krive, od kojih su dvije krive modela za nq = 96.85, nq = 100.56 i jedna kriva za nq = 98.70 dobijena iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)* u programu Matlab.



Slika 112. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K1 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K1 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)* u programu Matlab.



Slika 113. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K2 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K2 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)* u programu Matlab.



Slika 114. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K3 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K3 u zavisnosti od *nq*, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz *Univerzalne Jednačine* iz razvijenog *Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)* u programu Matlab.



Slika 115. Dijagram na kojem su prikazane vrijednosti za koeficijent K4 od četiri koeficijenta (K1, K2, K3, K4) iz svakog od 72 Kubna splajna, za svaku od osam krivih osam modela pumpi, i vidi se karakter ovog koeficijenta K4 u zavisnosti od nq, vrijednosti prikazane na dijagramu dobijene su iz Univerzalne Jednačine iz razvijenog Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) u programu Matlab.

U (Prilogu - 8) ove doktorske disertacije nalazi se kompletan izvještaj razvijenog *Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi) Varijanta 5* u programu Matlab, u kojem se nalaze dijagrami na kojima su prikazane provučene matematičke krive (polinom trećeg stepena) između tačaka sa vrijednostima koeficijenti – nq.

6.3.5.1 Jednačina zavisnosti (zakonitosti) za Wh karakteristike od nq iz razvijenog numeričkog modela 2 – Varijanta 5

U narednom dijelu teksta prikazana je dobijena *Uneverzalna Jednačina iz Numeričkog modela 2 (Pumpe - Kubni splajn (novi nq-ovi)* u programu Matlab.

Konačna jednačina je:

$Wh = K1^{Theta} + K2^{Theta} + K3^{Theta} + K4$	(61)
gdje je: ThetaT = ThetaN - ThetaOld	(62)
$K1 = p11*nqNew^3 + p12*nqNew^2 + p13*nqNew + p14$	(63)
$K2 = p21*nqNew^3 + p22*nqNew^2 + p23*nqNew + p24$	(64)
$K3 = p31*nqNew^3 + p32*nqNew^2 + p33*nqNew + p34$	(65)
$K4 = p41*nqNew^3 + p42*nqNew^2 + p43*nqNew + p44$	(66)

Tabela koeficijenata:

| K1 | K2 | K3 | K4 | Opseg Theta | p11 | p12 | p13 | p14 | p21 | p22 | p23 | p24 | p31 | p32 | p33 | p34 | p41 | p42 | p43 | p44 | Columns 1 through 7 0 5.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 -0.0000 0.0004 5.0000 10.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 -0.0000 0.0001 10.0000 15.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 0.0000 -0.0002 15.0000 20.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 -0.0000 0.0001 20.0000 25.0000 0.0000 -0.0000 0.0022 -0.0000 0.0001 25.0000 30.0000 -0.0000 0.0001 -0.0034 0.0000 -0.0005 30.0000 35.0000 0.0000 -0.0000 0.0017 -0.0000 0.0004 35.0000 40.0000 -0.0000 -0.0000 0.0001 0.0000 -0.0001 40.0000 45.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 -0.0000 -0.0001 45.0000 50.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0000 0.0001 50.0000 55.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 55.0000 60.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 60.0000 65.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 65.0000 70.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 -0.0000 70.0000 75.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0000 75.0000 80.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 80.0000 85.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0000 85.0000 90.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 90.0000 95.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0000 95.0000 100.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 -0.0001 100.0000 105.0000 0.0000 -0.0000 0.0004 -0.0000 0.0001 105.0000 110.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 0.0000 -0.0001 110.0000 115.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0000 0.0001 115.0000 120.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 -0.0001 120.0000 125.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 125.0000 130.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0001 130.0000 135.0000 0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 135.0000 140.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 0.0000 0.0000 140.0000 145.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 -0.0001 145.0000 150.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 150.0000 155.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0001 155.0000 160.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0000 160.0000 165.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 -0.0001 165.0000 170.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0001 170.0000 175.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0001 175.0000 180.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0000 0.0001 180.0000 185.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0001 185.0000 190.0000 0.0000 -0.0000 -0.0002 -0.0000 0.0000 190.0000 195.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 0.0000 0.0000 195.0000 200.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 200.0000 205.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 205.0000 210.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 210.0000 215.0000 0.0000 -0.0000 0.0002 -0.0000 0.0001 215.0000 220.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 -0.0001 220.0000 225.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0000 225.0000 230.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000 230.0000 235.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 235.0000 240.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0000 0.0001 240.0000 245.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 0.0000 -0.0001 245.0000 250.0000 0.0000 -0.0000 0.0003 -0.0000 0.0001 250.0000 255.0000 -0.0000 0.0000 -0.0004 0.0000 -0.0001 255.0000 260.0000 0.0000 -0.0000 0.0005 -0.0000 0.0002 260.0000 265.0000 -0.0000 0.0000 -0.0007 0.0000 -0.0002 265.0000 270.0000 0.0000 -0.0000 0.0007 -0.0000 0.0003 270.0000 275.0000 -0.0000 0.0000 -0.0002 0.0000 -0.0002 275.0000 280.0000 0.0000 -0.0000 0.0005 0.0000 -0.0001 280.0000 285.0000 -0.0000 0.0001 -0.0010 0.0000 -0.0004 285.0000 290.0000 0.0000 -0.0000 0.0005 -0.0000 0.0004 290.0000 295.0000 -0.0000 0.0001 -0.0029 0.0000 -0.0003 295.0000 300.0000 0.0000 -0.0002 0.0062 -0.0000 0.0014 300.0000 305.0000 -0.0000 0.0001 -0.0040 0.0000 -0.0013 305.0000 310.0000 0.0000 -0.0000 0.0008 -0.0000 0.0003 310.0000 315.0000 0.0000 -0.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 315.0000 320.0000 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0000 -0.0000 320.0000 325.0000 0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 325.0000 330.0000 0.0000 -0.0000 0.0001 -0.0000 0.0000 330.0000 335.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 0.0000 -0.0001 335.0000 340.0000 0.0000 -0.0000 0.0005 -0.0000 0.0001 340.0000 345.0000 0.0000 0.0000 -0.0006 -0.0000 -0.0000 345.0000 350.0000 0.0000 -0.0000 0.0005 -0.0000 0.0001 350.0000 355.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 0.0000 -0.0001 355.0000 360.0000 -0.0000 0.0000 -0.0003 -0.0000 0.0001 Columns 8 through 14 -0.0073 0.0000 -0.0015 0.0397 -0.0001 0.0040 -0.7824 -0.0017 -0.0000 0.0009 -0.0052 -0.0001 0.0036 -0.7196 0.0039 -0.0000 0.0005 0.0062 -0.0001 0.0081 -0.7406 -0.0000 0.0000 -0.0001 0.0258 -0.0001 0.0081 -0.6442 -0.0059 -0.0000 0.0007 -0.0040 -0.0001 0.0094 -0.5652 0.0270 0.0000 -0.0011 0.1013 -0.0001 0.0109 -0.4591 -0.0242 0.0000 -0.0014 0.1154 -0.0001 0.0008 0.2961 0.0018 0.0000 0.0006 0.0033 -0.0001 0.0008 0.4846 0.0029 0.0000 -0.0002 0.0269 -0.0000 0.0019 0.5554 -0.0034 0.0000 -0.0002 0.0245 0.0000 -0.0000 0.7100 0.0009 -0.0000 0.0001 0.0121 0.0000 0.0004 0.7835 -0.0005 -0.0000 0.0001 0.0142 0.0000 0.0007 0.8549

```
0.0001 -0.0000 0.0001 0.0121 -0.0000 0.0016 0.9183
-0.0000 0.0000 -0.0001 0.0123 -0.0000 0.0016 0.9798
-0.0008 -0.0000 0.0001 0.0081 -0.0000 0.0016 1.0338
0.0000 -0.0000 0.0003 0.0042 -0.0000 0.0029 1.0612
-0.0005 -0.0000 0.0002 0.0016 -0.0000 0.0040 1.0779
0.0008 -0.0000 0.0001 0.0029 -0.0000 0.0051 1.0838
-0.0004 -0.0000 0.0001 0.0046 -0.0000 0.0051 1.1076
0.0007 0.0000 -0.0001 0.0058 -0.0000 0.0057 1.1291
-0.0025 0.0000 -0.0000 -0.0032 -0.0000 0.0049 1.1484
0.0033 0.0000 -0.0002 0.0007 -0.0000 0.0049 1.148
-0.0017 0.0000 -0.0002 0.0007 -0.0000 0.0052 1.1184
0.0020 0.0000 -0.0006 0.0100 0.0000 0.0009 1.1934
-0.0011 0.0000 -0.0008 0.0145 0.0000 -0.0029 1.2673
-0.0013 0.0000 -0.0004 0.0029 0.0001 -0.0059 1.3117
0.0007 0.0000 -0.0002 0.0004 0.0001 -0.0071 1.3117
-0.0014 0.0000 -0.0002 -0.0029 0.0001 -0.0082 1.3145
0.0022 0.0000 -0.0004 0.0013 0.0001 -0.0093 1.2950
-0.0011 0.0000 -0.0007 0.0071 0.0001 -0.0121 1.3297
-0.0011 0.0000 -0.0002 -0.0038 0.0002 -0.0147 1.3380
-0.0003 -0.0000 0.0004 -0.0108 0.0002 -0.0141 1.2984
0.0010 -0.0000 0.0004 -0.0075 0.0001 -0.0117 1.2475
-0.0017 -0.0000 0.0005 -0.0110 0.0001 -0.0100 1.2123
0.0003 -0.0000 0.0006 -0.0178 0.0001 -0.0068 1.1319
-0.0013 -0.0000 0.0007 -0.0228 0.0001 -0.0041 1.0374
0.0024 -0.0000 0.0005 -0.0173 0.0000 -0.0005 0.9216
0.0008 -0.0000 0.0001 -0.0012 0.0000 0.0002 0.8818
-0.0015 -0.0000 0.0003 -0.0046 0.0000 0.0011 0.8768
0.0012 -0.0000 0.0001 -0.0059 -0.0000 0.0021 0.8392
-0.0004 0.0000 -0.0001 -0.0018 -0.0000 0.0017 0.8266
0.0003 0.0000 -0.0003 -0.0022 -0.0000 0.0009 0.8137
-0.0013 -0.0000 0.0002 -0.0073 -0.0000 -0.0002 0.7969
0.0022 -0.0000 0.0002 -0.0029 -0.0000 0.0018 0.7568
-0.0007 -0.0000 -0.0001 0.0047 -0.0000 0.0016 0.7735
0.0003 -0.0000 0.0001 0.0026 -0.0000 0.0019 0.7876
0.0002 -0.0000 -0.0000 0.0052 -0.0000 0.0019 0.8075
-0.0018 -0.0000 0.0002 -0.0026 -0.0001 0.0021 0.8224
0.0029 -0.0000 -0.0000 0.0029 -0.0001 0.0033 0.8039
-0.0026 -0.0000 -0.0001 0.0045 -0.0001 0.0020 0.8452
0.0026 -0.0000 -0.0002 0.0049 -0.0001 0.0024 0.8472
-0.0034 -0.0000 0.0001 0.0011 -0.0001 0.0009 0.8872
0.0043 -0.0000 -0.0001 0.0058 -0.0001 0.0024 0.8722
-0.0064 -0.0000 0.0005 -0.0044 -0.0001 0.0012 0.9202
0.0035 -0.0000 0.0009 -0.0187 -0.0002 0.0072 0.8213
0.0006 0.0000 -0.0008 0.0018 -0.0002 0.0070 0.7912
0.0077 0.0000 -0.0032 0.0431 -0.0001 -0.0017 0.8740
-0.0068 0.0000 -0.0030 0.0474 0.0000 -0.0206 1.1604
0.0002 0.0000 -0.0023 0.0143 0.0001 -0.0308 1.2855
-0.0436 -0.0000 0.0034 -0.2025 0.0002 -0.0351 0.9974
0.0493 -0.0000 0.0039 -0.1738 0.0000 -0.0058 -0.3301
-0.0113 0.0000 -0.0009 0.0163 0.0000 -0.0051 -0.4715
0.0014 -0.0000 0.0006 -0.0329 0.0000 -0.0043 -0.5656
0.0017 -0.0000 0.0002 -0.0171 -0.0000 -0.0023 -0.6918
-0.0001 -0.0000 0.0000 -0.0091 -0.0000 -0.0020 -0.7494
-0.0026 0.0000 -0.0000 -0.0111 -0.0000 -0.0010 -0.8719
0.0031 -0.0000 0.0001 0.0052 -0.0000 0.0014 -0.8484
-0.0015 -0.0000 0.0001 0.0130 -0.0001 0.0014 -0.7836
```

Izgled jednačina

Izgled jednačina spline za nq=24.3 (25)

```
opseg od 0 do 5 -> f(1) = 3.8306e-06*ThetaT^3+(0.00034254)*ThetaT^2+(0.0081915)*ThetaT+(-0.74)
opseg od 5 do 10 -> f(2) = 3.8306e-06*ThetaT^3+(0.0004)*ThetaT^2+(0.011904)*ThetaT+(-0.69)
opseg od 10 do 15 -> f(3) = 6.0847e-05*ThetaT^3+(0.00045746)*ThetaT^2+(0.016192)*ThetaT+(-0.62) opseg od 15 do 20 -> <math>f(4) = -0.00040722*ThetaT^3+(0.0013702)*ThetaT^2+(0.02533)*ThetaT+(-0.52)
opseg od 20 do 25 -> f(5) =
                                          0.001488*ThetaT^3+(-0.0047381)*ThetaT^2+(0.0084899)*ThetaT+(-0.41)
                                         -0.0021049*ThetaT^3+(0.017582)*ThetaT^2+(0.07271)*ThetaT+(-0.3)
0.0010115*ThetaT^3+(-0.013991)*ThetaT^2+(0.090667)*ThetaT+(0.24)
opseg od 25 do 30 -> f(6) =
opseg od 30 do 35 \rightarrow f(7) =
opseg od 35 do 40 -> f(8) =
                                          -0.00018108*ThetaT^3+(0.0011814)*ThetaT^2+(0.02662)*ThetaT+(0.47)
opseg od 40 do 45 -> f(9) =
                                          0.00011283*ThetaT^3+(-0.0015348)*ThetaT^2+(0.024853)*ThetaT+(0.61)
                                        = -3.0231e-05*ThetaT^3+(0.00015765)*ThetaT^2+(0.017968)*ThetaT+(0.71)
= 8.0971e-06*ThetaT^3+(-0.00029582)*ThetaT^2+(0.017277)*ThetaT+(0.8)
= -2.1573e-06*ThetaT^3+(-0.00017436)*ThetaT^2+(0.014926)*ThetaT+(0.88)
opseg od 45 do 50 -> f(10)
opseg od 50 do 55 -> f(11)
opseg od 55 do 60 -> f(12)
opseg od 60 do 65 -> f(13)
                                        = 5.3218e-07*ThetaT^3+(-0.00020672)*ThetaT^2+(0.01302)*ThetaT+(0.95)
opseg od 65 do 70 -> f(14) = 2.8591e-08*ThetaT^3+(-0.00019874)*ThetaT^2+(0.010993)*ThetaT+(1.01)
                                           -6.4655e-07*ThetaT^3+(-0.00019831)*ThetaT^2+(0.0090077)*ThetaT+(1.06)
opseg od 70 do 75 -> f(15)
                                           2.5576e-06*ThetaT^3+(-0.00020801)*ThetaT^2+(0.0069761)*ThetaT+(1.1)
opseg od 75 do 80 -> f(16)
opseg od 80 do 85 -> f(17)
opseg od 85 do 90 -> f(18)
                                           9.5838e-06*ThetaT^3+(-0.00016965)*ThetaT^2+(0.005078)*ThetaT+(1.13)
3.5778e-05*ThetaT^3+(-0.0003134)*ThetaT^2+(0.0026726)*ThetaT+(1.15)
                                        =
                                        =
opseg od 90 do 95 -> f(19)
                                            -5.3527e-05*ThetaT^3+(0.00022326)*ThetaT^2+(0.0022219)*ThetaT+(1.16)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = 1.8331e-05*ThetaT^3+(-0.00057965)*ThetaT^2+(0.00043995)*ThetaT+(1.17)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = 6.0203e-05*ThetaT^3+(-0.00030468)*ThetaT^2+(-0.0039817)*ThetaT+(1.16)
                                              9.9145e-05*ThetaT^3+(0.00059837)*ThetaT^2+(-0.0005347)*ThetaT+(1.14)
9.6376e-05*ThetaT^3+(-0.00058888)*ThetaT^2+(-0.0039654)*ThetaT+(1.13)
opseg od 105 do 110 -> f(22) =
opseg od 110 do 115 -> f(23)
opseg od 115 do 120 -> f(24) = -4.6358e-05*ThetaT^3+(0.0005563)*ThetaT^2+(-0.0056252)*ThetaT+(1.1)
opseg od 120 do 125 -> f(25) = 9.0555e-06*ThetaT^3+(-0.00013853)*ThetaT^2+(-0.0035337)*ThetaT+(1.08)
opseg od 125 do 130 -> f(26) = 1.0136e-05*ThetaT^3+(-2.7003e-06)*ThetaT^2+(-0.0042399)*ThetaT+(1.06)
opseg od 130 do 135 -> f(27) = -4.9598e-05*ThetaT^3+(0.00014933)*ThetaT^2+(-0.0035067)*ThetaT+(1.04)
```

opseg	od	135	do	140	->	f(28)	=	0.00010826*ThetaT^3+(-0.00059464)*ThetaT^2+(-0.0057332)*ThetaT+(1.02)
opseg	od	140	do	145	->	f(29)	=	-0.00014343*ThetaT^3+(0.0010292)*ThetaT^2+(-0.0035603)*ThetaT+(0.99)
opseg	od	145	do	150	->	f(30)	=	0.00014546*ThetaT^3+(-0.0011222)*ThetaT^2+(-0.0040254)*ThetaT+(0.98)
opseg	od	150	do	155	->	f(31)	=	-0.00011842*ThetaT^3+(0.0010597)*ThetaT^2+(-0.004338)*ThetaT+(0.95)
opseg	od	155	do	160	->	f(32)	=	8.8233e-05*ThetaT^3+(-0.00071664)*ThetaT^2+(-0.0026226)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	160	do	165	->	f(33)	=	-7.4506e-05*ThetaT^3+(0.00060685)*ThetaT^2+(-0.0031716)*ThetaT+(0.92)
opseg	od	165	do	170	->	f(34)	=	4.9792e-05*ThetaT^3+(-0.00051074)*ThetaT^2+(-0.0026911)*ThetaT+(0.91)
opseg	od	170	do	175	->	f(35)	=	-4.466e-05*ThetaT^3+(0.00023613)*ThetaT^2+(-0.0040641)*ThetaT+(0.89)
opseg	od	175	do	180	->	f(36)	=	4.885e-05*ThetaT^3+(-0.00043377)*ThetaT^2+(-0.0050524)*ThetaT+(0.87)
opseg	od	180	do	185	->	f(37)	=	9.262e-06*ThetaT^3+(0.00029897)*ThetaT^2+(-0.0057264)*ThetaT+(0.84)
opseg	od	185	do	190	->	f(38)	=	-8.5898e-05*ThetaT^3+(0.0004379)*ThetaT^2+(-0.0020421)*ThetaT+(0.82)
opseg	od	190	do	195	->	f(39)	=	9.4328e-05*ThetaT^3+(-0.00085057)*ThetaT^2+(-0.0041054)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	195	do	200	->	f(40)	=	-5.1416e-05*ThetaT^3+(0.00056436)*ThetaT^2+(-0.0055364)*ThetaT+(0.78)
opseg	od	200	do	205	->	f(41)	=	3.1336e-05*ThetaT^3+(-0.00020688)*ThetaT^2+(-0.003749)*ThetaT+(0.76)
opseg	od	205	do	210	->	f(42)	=	6.0713e-06*ThetaT^3+(0.00026316)*ThetaT^2+(-0.0034676)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	210	do	215	->	f(43)	=	-5.5621e-05*ThetaT^3+(0.00035423)*ThetaT^2+(-0.00038062)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	5.6414e-05*ThetaT^3+(-0.00048009)*ThetaT^2+(-0.0010099)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	220	do	225	->	f(45)	=	-1.0036e-05*ThetaT^3+(0.00036613)*ThetaT^2+(-0.0015797)*ThetaT+(0.72)
opseg	od	225	do	230	->	f(46)	=	-1.627e-05*ThetaT^3+(0.00021559)*ThetaT^2+(0.0013288)*ThetaT+(0.72)
opseg	od	230	do	235	->	f(47)	=	-4.8823e-06*ThetaT^3+(-2.847e-05)*ThetaT^2+(0.0022644)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	3.58e-05*ThetaT^3+(-0.00010171)*ThetaT^2+(0.0016135)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	240	do	245	->	f(49)	=	-5.8317e-05*ThetaT^3+(0.00043529)*ThetaT^2+(0.0032815)*ThetaT+(0.75)
opseg	od	245	do	250	->	f(50)	=	3.7467e-05*ThetaT^3+(-0.00043946)*ThetaT^2+(0.0032606)*ThetaT+(0.77)
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	-1.1552e-05*ThetaT^3+(0.00012255)*ThetaT^2+(0.0016761)*ThetaT+(0.78)
opseg	od	255	do	260	->	f(52)	=	8.741e-06*ThetaT^3+(-5.0733e-05)*ThetaT^2+(0.0020351)*ThetaT+(0.79)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	-2.3412e-05*ThetaT^3+(8.0383e-05)*ThetaT^2+(0.0021834)*ThetaT+(0.8)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	4.9072e-06*ThetaT^3+(-0.0002708)*ThetaT^2+(0.0012313)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	-7.6217e-05*ThetaT^3+(-0.00019719)*ThetaT^2+(-0.0011086)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	-2.004e-05*ThetaT^3+(-0.0013404)*ThetaT^2+(-0.0087968)*ThetaT+(0.79)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	0.00015638*ThetaT^3+(-0.001641)*ThetaT^2+(-0.023704)*ThetaT+(0.71)
opseg	od	285	do	290	->	f(58)	=	0.00027453*ThetaT^3+(0.00070461)*ThetaT^2+(-0.028386)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	-0.0021345*ThetaT^3+(0.0048226)*ThetaT^2+(-0.00075033)*ThetaT+(0.48)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	0.0037035*ThetaT^3+(-0.027195)*ThetaT^2+(-0.11261)*ThetaT+(0.33)
opseg	od	300	do	305	->	f(61)	=	-0.0022795*ThetaT^3+(0.028357)*ThetaT^2+(-0.1068)*ThetaT+(-0.45)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	0.00045434*ThetaT^3+(-0.0058345)*ThetaT^2+(0.005814)*ThetaT+(-0.56)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	-1.7891e-05*ThetaT^3+(0.00098057)*ThetaT^2+(-0.018456)*ThetaT+(-0.62)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	-6.2774e-05*ThetaT^3+(0.00071221)*ThetaT^2+(-0.0099917)*ThetaT+(-0.69)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	2.8987e-05*ThetaT^3+(-0.0002294)*ThetaT^2+(-0.0075777)*ThetaT+(-0.73)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	2.6825e-05*ThetaT^3+(0.00020541)*ThetaT^2+(-0.0076977)*ThetaT+(-0.77)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	-5.6288e-05*ThetaT^3+(0.00060778)*ThetaT^2+(-0.0036317)*ThetaT+(-0.8)
opseg	od	335	do	340	->	+(68)	=	3.8326e-05*ThetaT^3+(-0.00023654)*ThetaT^2+(-0.0017755)*ThetaT+(-0.81)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	-1.7017e-05*ThetaT^3+(0.00033836)*ThetaT^2+(-0.0012664)*ThetaT+(-0.82)
opseg	od	345	do	350	->	+(70)	=	2.9741e-05*ThetaT^3+(8.3105e-05)*ThetaT^2+(0.00084094)*ThetaT+(-0.82)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	-2.1948e-05*ThetaT^3+(0.00052922)*ThetaT^2+(0.0039026)*ThetaT+(-0.81)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	-2.1948e-05*ThetaT^3+(0.0002)*ThetaT^2+(0.0075487)*ThetaT+(-0.78)

Izgled jednačina spline za nq=41.81

opseg od 0 do 5 -> f(1) = 1.0985e-05*ThetaT^3+(-0.00016478)*ThetaT^2+(0.016549)*ThetaT+(-0.74)
opseg od 5 do 10 -> f(2) = 1.0985e-05*ThetaT^3+(2.7783e-18)*ThetaT^2+(0.015725)*ThetaT+(-0.66)
opseg od 10 do 15 -> f(3) = 2.5074e-05*ThetaT^3+(0.00016478)*ThetaT^2+(0.016549)*ThetaT+(-0.58)
opseg od 15 do 20 -> f(4) = -3.128e-05*ThetaT^3+(0.00054088)*ThetaT^2+(0.020078)*ThetaT+(-0.49)
opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00050005*ThetaT^3+(7.1683e-05)*ThetaT^2+(0.02314)*ThetaT+(-0.38)
opseg od 25 do 30 -> f(6) = -0.00092891*ThetaT^3+(0.0075724)*ThetaT^2+(0.061361)*ThetaT+(-0.2)
opseg od 30 do 35 -> f(7) = 0.00033558*ThetaT^3+(-0.0063612)*ThetaT^2+(0.067417)*ThetaT+(0.18)
opseg od 35 do 40 -> f(8) = 0.00022659*ThetaT^3+(-0.0013275)*ThetaT^2+(0.028973)*ThetaT+(0.4)
opseg od 40 do 45 -> f(9) = -0.00036193*ThetaT^3+(0.0020713)*ThetaT^2+(0.032692)*ThetaT+(0.54)
opseg od 45 do 50 -> f(10) = 0.00026112*ThetaT^3+(-0.0033576)*ThetaT^2+(0.02626)*ThetaT+(0.71)
opseg od 50 do 55 -> f(11) = 3.7457e-05*ThetaT^3+(0.00055915)*ThetaT^2+(0.012268)*ThetaT+(0.79)
opseg od 55 do 60 -> f(12) = -0.00017094*ThetaT^3+(0.001121)*ThetaT^2+(0.020669)*ThetaT+(0.87)
opseg od 60 do 65 -> f(13) = 8.6322e-05*ThetaT^3+(-0.0014432)*ThetaT^2+(0.019058)*ThetaT+(0.98)
opseg od 65 do 70 -> f(14) = 6.5657e-05*ThetaT^3+(-0.00014834)*ThetaT^2+(0.0111)*ThetaT+(1.05)
opseg od 70 do 75 -> f(15) = -0.00010895*ThetaT^3+(0.00083651)*ThetaT^2+(0.014541)*ThetaT+(1.11)
opseg od 75 do 80 -> f(16) = 5.0137e-05*ThetaT^3+(-0.00079771)*ThetaT^2+(0.014735)*ThetaT+(1.19)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = -1.1601e-05*ThetaT^3+(-4.5655e-05)*ThetaT^2+(0.010518)*ThetaT+(1.25)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 7.6265e-05*ThetaT^3+(-0.00021966)*ThetaT^2+(0.00091917)*ThetaT+(1.3)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = -0.00013346*ThetaT^3+(0.00092431)*ThetaT^2+(0.012715)*ThetaT+(1.35)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = -2.2423e-05*ThetaT^3+(-0.0010776)*ThetaT^2+(0.011949)*ThetaT+(1.42)
opseg od 100 do 105 -> +(21) = 0.00014315*ThetaT^3+(-0.0014139)*ThetaT^2+(-0.00050912)*ThetaT+(1.45)
opseg od 105 do 110 -> f(22) = 9.8106e-06*ThetaT^3+(0.00073336)*ThetaT^2+(-0.003912)*ThetaT+(1.43)
opseg od 110 do 115 -> f(23) = -0.0001024*ThetaT^3+(0.00088052)*ThetaT^2+(0.0041573)*ThetaT+(1.43)
opseg od 115 do 120 -> +(24) = -2.2823e-07*heta1^3+(-0.00065542)*heta1^2+(0.0052828)*heta1+(1.46)
opseg od 120 do 125 -> +(25) = 2.3309e-05*1heta1^3+(-0.00065884)*1heta1^2+(-0.0012885)*1heta1+(1.47)
opseg od 125 do 130 -> f(26) = 6.6994e-05*inetai^3+(-0.00030921)*inetai^2+(-0.0061288)*inetai+(1.45)
opseg od 130 do 135 -> +(27) = -0.00013129*hetal^3+(0.0006957)*hetal^2+(-0.0041964)*hetal+(1.42)
opseg od 155 do 140 -> +(28) = 0.00013815*1heta1^3+(-0.0012/36)*1heta1^2+(-0.00/0858)*1heta1+(1.4)
opseg od 140 do 145 -> +(29) = -0.0001013*lhetal^3+(0.000/9802)*lhetal^2+(-0.0094606)*lhetal+(1.35)
opseg od 145 do 150 -> +(30) = 2.7064e-05*Thetal^3+(-0.00072092)*Thetal^2+(-0.009072)*Thetal+(1.31)
opseg od 150 do 155 -> +(31) = 0.00023305*1hetal^3+(-0.00031496)*1hetal^2+(-0.014251)*1hetal+(1.25)
opseg od 155 do 160 -> $\tau(32) = -0.00031926^{+}$ inetai'34(0.0031808)^{+}inetai'24(7.6666-05)^{+}inetai+(1.2)
opseg od 160 do 165 -> T(33) = 0.00015398*Inteta1^3+(-0.0016081)*Inteta1^2+(0.0079409)*Inteta1+(1.24)
opseg od 155 d0 170 -> $T(34) = -0.0002565^{+}$ inetai^3(0.00085164)^{+}inetai^2(0.000851666)^{+}inetai^2(0.000851666)^{+}inetai^2(0.000851666)^{+}inetai^2(0.0008516666)^{+}inetai^2(0.00085166666)^{+}inetai^2(0.00085166666
opseg ou 1/0 do 1/5 -> $T(35) = 0.000302/1^{+11111111111111111111111111111111111$
opseg ou 1/5 uo 180 -> $T(50) = -0.00015410^{+1}$ (0.0015422)^{+1} metal '24(-0.01585)/^{+1} metal +(1.2)
Opseg ou 180 do 185 -> T(3) = 0.00023395* Hetal*(-0.000//02/)* Hetal*(2+(-0.009393)* Hetal+(1.15)
opseg ou 185 do 190 -> T(38) = -0.00030102*/hetaT03+(0.002/383)*/hetaT02+(-0.00013403)*/hetaH+(1.11)
Opseg ou 190 uo 190 -> T(39) = 5.2220e-05"INELAI"3+(-0.001/854)*INETAI"2+(0.0040136)*INETAI+(1.14)
upseg ou iso uo zoo -> ((40) = 1.15120-05"/iNetal"3+(-0.00035/40)"/iNetal+(1.13)
opseg ou zeo uo zeo $-> 1(41) = -0.00015050 \text{ initial initial (0.000244)} \text{initial initial (0.000411/)} \text{initial (1.09)}$
upset uu 200 uu 210 -7 1(42) = 0.000362/9"Inteld"3+(-0.0023034)"Inteld"2+(-0.022003)"Inteld"2+(-0.02003)"Inteld"Inteld"2+(-0.02003)"Inteld"2+(-0.02003)"Inteld"2+(-0.02003)"Inteld""Intel
upset uu 210 uu 210 -> $(43) = -0.00019237 $
obseR on sta no sta -/ ((++) = -1.54446-02.106791.24(0.00024204).106791.54(0.00220523).1067914(0.08)

oncog	od	220	do	225	~	f(45)	_	7776270-05*ThotaTA2+(0.00026209)*ThotaTA2+(0.000126)*ThotaT+(0.01)
opseg	ou	220	uO	225	->	1(45)	=	$-7.7057e^{-05}$ inetal $-5+(0.00050250)$ inetal $-2+(0.008126)^{+1}$ inetal $+(0.91)$
opseg	od	225	ao	230	->	+(46)	=	8.2994e-05^Ineta1^3+(-0.00080158)^IhetaT^2+(0.005933)*ThetaT+(0.95)
opseg	od	230	do	235	->	f(47)	=	-9.4338e-05*ThetaT^3+(0.00044333)*ThetaT^2+(0.0041418)*ThetaT+(0.97)
opseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	5.4357e-05*ThetaT^3+(-0.00097174)*ThetaT^2+(0.0014998)*ThetaT+(0.99)
opseg	od	240	do	245	->	f(49)	=	3.6911e-05*ThetaT^3+(-0.00015638)*ThetaT^2+(-0.0041408)*ThetaT+(0.98)
opseg	od	245	do	250	->	f(50)	=	-4.1999e-05*ThetaT^3+(0.00039727)*ThetaT^2+(-0.0029364)*ThetaT+(0.96)
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	5.1087e-05*ThetaT^3+(-0.00023271)*ThetaT^2+(-0.0021136)*ThetaT+(0.95)
opseg	od	255	do	260	->	f(52)	=	-8.2347e-05*ThetaT^3+(0.00053358)*ThetaT^2+(-0.00060924)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	0.0001183*ThetaT^3+(-0.00070162)*ThetaT^2+(-0.0014494)*ThetaT+(0.94)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	-0.00023086*ThetaT^3+(0.0010729)*ThetaT^2+(0.00040699)*ThetaT+(0.93)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	8.5143e-05*ThetaT^3+(-0.00239)*ThetaT^2+(-0.0061785)*ThetaT+(0.93)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	0.00021029*ThetaT^3+(-0.0011129)*ThetaT^2+(-0.023693)*ThetaT+(0.85)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	0.00011371*ThetaT^3+(0.0020415)*ThetaT^2+(-0.01905)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	285	do	290	->	f(58)	=	-0.0019451*ThetaT^3+(0.0037471)*ThetaT^2+(0.0098926)*ThetaT+(0.7)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	0.0029468*ThetaT^3+(-0.02543)*ThetaT^2+(-0.09852)*ThetaT+(0.6)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	-0.0012019*ThetaT^3+(0.018772)*ThetaT^2+(-0.13181)*ThetaT+(-0.16)
opseg	od	300	do	305	->	f(61)	=	2.0795e-05*ThetaT^3+(0.0007433)*ThetaT^2+(-0.034236)*ThetaT+(-0.5)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	-8.1294e-05*ThetaT^3+(0.0010552)*ThetaT^2+(-0.025244)*ThetaT+(-0.65)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	6.4382e-05*ThetaT^3+(-0.00016419)*ThetaT^2+(-0.020789)*ThetaT+(-0.76)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	-1.6233e-05*ThetaT^3+(0.00080154)*ThetaT^2+(-0.017602)*ThetaT+(-0.86)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	5.5153e-07*ThetaT^3+(0.00055804)*ThetaT^2+(-0.010804)*ThetaT+(-0.93)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	-0.00014597*ThetaT^3+(0.00056631)*ThetaT^2+(-0.0051822)*ThetaT+(-0.97)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	-5.666e-05*ThetaT^3+(-0.0016233)*ThetaT^2+(-0.010467)*ThetaT+(-1)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	0.00093261*ThetaT^3+(-0.0024732)*ThetaT^2+(-0.030949)*ThetaT+(-1.1)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	-0.0012738*ThetaT^3+(0.011516)*ThetaT^2+(0.014265)*ThetaT+(-1.2)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	0.00072258*ThetaT^3+(-0.0075909)*ThetaT^2+(0.03389)*ThetaT+(-1)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	-0.00025652*ThetaT^3+(0.0032477)*ThetaT^2+(0.012174)*ThetaT+(-0.93)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	-0.00025652*ThetaT^3+(-0.0006)*ThetaT^2+(0.025413)*ThetaT+(-0.82)

Izgled jednačina spline za nq=64

12grea Jeanaetha sprine 2a ng=01
opseg od 0 do 5 -> f(1) = -0.00065187*ThetaT^3+(0.013978)*ThetaT^2+(-0.057593)*ThetaT+(-0.69)
opseg od 5 do 10 -> f(2) = -0.00065187*ThetaT^3+(0.0042)*ThetaT^2+(0.033297)*ThetaT+(-0.71)
onseg of 10 do 15 -> $f(3) = 0.00053933*ThetaT^3+(-0.005578)*ThetaT^2+(0.026407)*ThetaT+(-0.52)$
α α α β
by set of 13 do 20 - $7 \left(\frac{1}{4} \right) = -0.00022340^{-1}$ (c) $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2$
opseg od 20 do 25 -> $+(5) = 0.00068249*[heta]^3+(-0.0008698/)*[heta]^2+(0.01928/)*[heta]+(-0.37)$
opseg od 25 do 30 -> f(6) = -0.0011445*ThetaT^3+(0.0093675)*ThetaT^2+(0.061775)*ThetaT+(-0.21)
opseg od 30 do 35 -> f(7) = 0.00053555*ThetaT^3+(-0.0078002)*ThetaT^2+(0.069612)*ThetaT+(0.19)
onseg of 35 do 40 -> $f(8) = -3.7697e-05*ThetaT^3+(0.00023312)*ThetaT^2+(0.031777)*ThetaT+(0.41)$
$\phi_{1} = \phi_{2} = \phi_{1} = \phi_{1} = \phi_{1} = \phi_{1} = \phi_{2} = \phi_{1} = \phi_{1$
$\frac{1}{2}$
obsed on 42 on 20 -2 + (10) = 0.00013076 interal -3 + (-0.0013038) interal -2 + (0.0231) interal + (0.71)
opseg od 50 do 55 -> f(11) = -8.2259e-05*ThetaT^3+(0.00074754)*ThetaT^2+(0.020319)*ThetaT+(0.81)
opseg od 55 do 60 -> f(12) = 0.00011228*ThetaT^3+(-0.00048635)*ThetaT^2+(0.021625)*ThetaT+(0.92)
opseg od 60 do 65 -> f(13) = -0.00028687*ThetaT^3+(0.0011979)*ThetaT^2+(0.025182)*ThetaT+(1.03)
opseg od 65 do 70 -> f(14) = 0.00039519*ThetaT^3+(-0.0031051)*ThetaT^2+(0.015646)*ThetaT+(1.15)
onseg of 70 do 75 -> $f(15) = -0.00033389*ThetaT^3+(0.0028227)*ThetaT^2+(0.014234)*ThetaT+(1.2)$
$p_{1} = p_{1} = p_{1$
by seg ou 73 do 80^{-7} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.0002230^{-11} (10) = 0.000230
opseg od 80 do 85 -> $f(17) = -0.00014762^{1} \text{ lnetal}^3 + (0.00112)^{1} \text{ lnetal}^2 + (0.012091)^{1} \text{ lnetal} + (1.36)$
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 0.00013012*ThetaT^3+(-0.0010944)*ThetaT^2+(0.012219)*ThetaT+(1.43)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = -0.00013284*ThetaT^3+(0.00085739)*ThetaT^2+(0.011034)*ThetaT+(1.48)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = 8.1248e-05*ThetaT^3+(-0.0011352)*ThetaT^2+(0.0096449)*ThetaT+(1.54)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = -3.215e-05*ThetaT^3+(8.3495e-05)*ThetaT^2+(0.0043863)*ThetaT+(1.57)
$c_{1} = c_{2}$ $c_{1} = c_{1} = c_{1$
$p_{1} = p_{1} = p_{1$
b) b
opseg od 115 do 120 -> $\tau(24) = -5.8304e-05^{-1}$ netal $^{+}$ +(0.0005526) $^{+}$ Inetal $^{+}$ 2+(-0.00053054) $^{+}$ Inetal+(1.56)
opseg od 120 do 125 -> f(25) = 7.0478e-05*ThetaT^3+(-0.00052196)*ThetaT^2+(-0.0071522)*ThetaT+(1.53)
opseg od 125 do 130 -> f(26) = -6.361e-05*ThetaT^3+(0.00053522)*ThetaT^2+(-0.0070859)*ThetaT+(1.49)
opseg od 130 do 135 -> f(27) = 2.396e-05*ThetaT^3+(-0.00041892)*ThetaT^2+(-0.0065044)*ThetaT+(1.46)
opseg od 135 do 140 -> $f(28) = -3.223e-05*ThetaT^3+(-5.9524e-05)*ThetaT^2+(-0.0088966)*ThetaT+(1.42)$
onseg of 140 do 145 -> $f(29) = -5.5039e-05*ThetaT^3+(-0.00054298)*ThetaT^2+(-0.011909)*ThetaT+(1.37)$
$p_{1} = p_{1} = p_{1$
(1+2) (0) (1+2) (0) (1+2) (
opseg od 150 do 155 -> $+(31) = -7.4504e-05*[heta]^3+(0.00241/2)*[heta]^2+(-0.016224)*[heta]+(1.18)$
opseg od 155 do 160 -> f(32) = -0.00027437*ThetaT^3+(0.0012997)*ThetaT^2+(0.0023609)*ThetaT+(1.15)
opseg od 160 do 165 -> f(33) = 0.00029198*ThetaT^3+(-0.0028159)*ThetaT^2+(-0.0052202)*ThetaT+(1.16)
opseg od 165 do 170 -> f(34) = -0.00017356*ThetaT^3+(0.0015639)*ThetaT^2+(-0.01148)*ThetaT+(1.1)
opseg od 170 do 175 -> $f(35) = 8.226e-05*ThetaT^3+(-0.0010396)*ThetaT^2+(-0.0088587)*ThetaT+(1.06)$
$c_{1} = 0$ $c_{2} = 0$ $c_{1} = 0$ $c_{2} = 0$ $c_{2} = 0$ $c_{1} = 0$ $c_{2} = 0$ $c_{1} = 0$ $c_{2} = 0$ c_{2
$\frac{1}{2}$ $\frac{1}$
Upsed of 160 to 165 -> $\Gamma(57) = 5.56522 + 05$ (metal 35(0.0002021)) (metal 27(-0.01002)) (metal (0.54))
opseg od 185 do 190 -> +(38) = -8.3131e-05*/netal*/3+(0.00115/)*/netal*/2+(-0.003/065)*/netal+(0.9)
opseg od 190 do 195 -> f(39) = -4.7126e-05*ThetaT^3+(-9.0013e-05)*ThetaT^2+(0.0016282)*ThetaT+(0.9)
opseg od 195 do 200 -> f(40) = 3.1637e-05*ThetaT^3+(-0.00079691)*ThetaT^2+(-0.0028064)*ThetaT+(0.9)
opseg od 200 do 205 -> f(41) = 8.0578e-05*ThetaT^3+(-0.00032235)*ThetaT^2+(-0.0084027)*ThetaT+(0.87)
opseg od 205 do 210 -> f(42) = 4.605e-05*ThetaT^3+(0.00088632)*ThetaT^2+(-0.0055829)*ThetaT+(0.83)
$r_{1} = 0$
$p_{1} = p_{1} = p_{1$
$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 $
opseg od 220 do 225 -> $+(45) = -2.747/e-05*[heta]^3+(0.00080135)*[heta]^2+(-0.0053198)*[heta]+(0.85)$
opseg od 225 do 230 -> f(46) = -2.3154e-05*ThetaT^3+(0.00038919)*ThetaT^2+(0.0006329)*ThetaT+(0.84)
opseg od 230 do 235 -> f(47) = -3.9905e-05*ThetaT^3+(4.1876e-05)*ThetaT^2+(0.0027882)*ThetaT+(0.85)
opseg od 235 do 240 -> f(48) = 2.2774e-05*ThetaT^3+(-0.0005567)*ThetaT^2+(0.00021414)*ThetaT+(0.86)
opseg od 240 do 245 -> $f(49) = 2.881e-05*ThetaT^3+(-0.00021509)*ThetaT^2+(-0.0036448)*ThetaT+(0.85)$
$\rho_{1} = 0$ $\rho_{2} = 0$ $\rho_{1} = 0$ $\rho_{2} = 0$ ρ_{2
opseg ou 200 uo 200 -> T(51) = 4.32460-05*Inetal:3+(-0.00065315)*Inetal:2+(-0.0058154)*Inetal+(0.81)
opseg od 255 do 260 -> t(52) = -3.497e-05*ThetaT^3+(-4.459e-06)*ThetaT^2+(-0.0091034)*ThetaT+(0.77)
opseg od 260 do 265 -> f(53) = 9.6635e-05*ThetaT^3+(-0.00052901)*ThetaT^2+(-0.011771)*ThetaT+(0.72)
opseg od 265 do 270 -> f(54) = -0.00011157*ThetaT^3+(0.00092051)*ThetaT^2+(-0.0098133)*ThetaT+(0.66)
opseg od 270 do 275 -> f(55) = -0.00029035*ThetaT^3+(-0.00075304)*ThetaT^2+(-0.0089759)*ThetaT+(0.62)
opseg od 275 do 280 -> $f(56) = -0.00040701*ThetaT^3+(-0.0051084)*ThetaT^2+(-0.038283)*ThetaT+(0.52)$
-1
$0 \rightarrow 0 \rightarrow$
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
opseg og 290 go 295 -> T(59) = 0.00034805*Ineta1^3+(-0.002636/)*Ineta1^2+(-0.025518)*Iheta1+(-0.72)
opseg od 295 do 300 -> +(60) = -0.00020558*ThetaT^3+(0.0025841)*ThetaT^2+(-0.025781)*ThetaT+(-0.87)
opseg od 300 do 305 -> f(61) = 7.4258e-05*ThetaT^3+(-0.00049959)*ThetaT^2+(-0.015359)*ThetaT+(-0.96)

opseg	od	305	do	310	- >	f(62)	=	-1.1457e-05*ThetaT^3+(0.00061429)*ThetaT^2+(-0.014785)*ThetaT+(-1.04)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	-2.8431e-05*ThetaT^3+(0.00044243)*ThetaT^2+(-0.0095014)*ThetaT+(-1.1)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	4.518e-05*ThetaT^3+(1.5972e-05)*ThetaT^2+(-0.0072094)*ThetaT+(-1.14)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	-7.229e-05*ThetaT^3+(0.00069368)*ThetaT^2+(-0.0036611)*ThetaT+(-1.17)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	8.3981e-05*ThetaT^3+(-0.00039068)*ThetaT^2+(-0.0021461)*ThetaT+(-1.18)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	-2.3635e-05*ThetaT^3+(0.00086904)*ThetaT^2+(0.00024567)*ThetaT+(-1.19)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	-6.9441e-05*ThetaT^3+(0.00051452)*ThetaT^2+(0.0071635)*ThetaT+(-1.17)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	0.0001414*ThetaT^3+(-0.0005271)*ThetaT^2+(0.0071005)*ThetaT+(-1.13)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	-9.6158e-05*ThetaT^3+(0.0015939)*ThetaT^2+(0.012434)*ThetaT+(-1.09)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	8.3232e-05*ThetaT^3+(0.00015153)*ThetaT^2+(0.021162)*ThetaT+(-1)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	8.3232e-05*ThetaT^3+(0.0014)*ThetaT^2+(0.028919)*ThetaT+(-0.88)

Izgled jednačina spline za nq=71.97

$\frac{1}{2} = 0 + 0 + 0 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$
onseg od 5 do 10 -> f(2) = 3.5711e-05*ThetaT^3+(1.7347e-18)*ThetaT^2+(0.011107)*ThetaT+(-0.77)
opseg od 10 do 15 -> f(3) = -1.8555e-05*ThetaT^3+(0.00053566)*ThetaT^2+(0.013786)*ThetaT+(-0.71)
opseg od 15 do 20 -> f(4) = -4.1492e-05*ThetaT^3+(0.00025734)*ThetaT^2+(0.017751)*ThetaT+(-0.63)
opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00018452*ThetaT^3+(-0.00036504)*ThetaT^2+(0.017212)*ThetaT+(-0.54)
opseg od 25 do 30 -> f(6) = -0.0002166*ThetaT^3+(0.0024028)*ThetaT^2+(0.027401)*ThetaT+(-0.44)
opseg od 30 do 35 -> f(7) = 0.00092189*ThetaT^3+(-0.00084624)*ThetaT^2+(0.035184)*ThetaT+(-0.27)
opseg od 35 do 40 -> f(8) = -0.001951*ThetaT^3+(0.012982)*ThetaT^2+(0.095863)*ThetaT+(0)
opseg od 40 do 45 -> f(9) = 0.0012819*ThetaT^3+(-0.016282)*ThetaT^2+(0.079363)*ThetaT+(0.56)
opseg od 45 do 50 -> f(10) = -0.00029682*ThetaT^3+(0.0029469)*ThetaT^2+(0.012686)*ThetaT+(0.71)
opseg od 50 do 55 -> +(11) = 0.00014533*ThetaT^3+(-0.0015054)*ThetaT^2+(0.019894)*ThetaT+(0.81)
opseg od 55 do 60 -> +(12) = -0.00012449*1heta1^3+(0.00067455)*1heta1^2+(0.01574)*1heta1+(0.89)
opseg od 60 do 65 -> f(13) = 0.00011264*1heta1^34(-0.0011928)*1heta1^2+(0.011148)*1heta1+(0.9/)
opseg od 65 do /0 -> f(14) = -8.60652-05*1neta1^3f(0.000496/5)*1neta1^2f(0.00966/8)*1neta1+(1.02)
Opseq ou 76 up 75 - 7 $(15) = 7.1022$ -05 (inclation-(-0.00079415)) (inclation-(-0.00079415)) (inclation-(1.07))
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
$G_{1} = G_{1} = G_{1$
onseg od 90 do 95 -> f(19) = -1.2571e-05*ThetaT^3+(-0.00016692)*ThetaT^2+(0.0011489)*ThetaT+(1.16)
opseg od 95 do 100 -> f(20) = 4.9624e-05*ThetaT^3+(-0.00035549)*ThetaT^2+(-0.0014632)*ThetaT+(1.16)
opseg od 100 do 105 -> f(21) = -0.00010592*ThetaT^3+(0.00038887)*ThetaT^2+(-0.0012962)*ThetaT+(1.15)
opseg od 105 do 110 -> f(22) = 0.00013407*ThetaT^3+(-0.0012)*ThetaT^2+(-0.0053519)*ThetaT+(1.14)
opseg od 110 do 115 -> f(23) = -0.00011037*ThetaT^3+(0.00081111)*ThetaT^2+(-0.0072963)*ThetaT+(1.1)
opseg od 115 do 120 -> f(24) = 6.7408e-05*ThetaT^3+(-0.00084444)*ThetaT^2+(-0.007463)*ThetaT+(1.07)
opseg od 120 do 125 -> f(25) = 8.074e-05*ThetaT^3+(0.00016667)*ThetaT^2+(-0.010852)*ThetaT+(1.02)
opseg od 125 do 130 -> f(26) = -0.00015037*ThetaT^3+(0.0013778)*ThetaT^2+(-0.0031297)*ThetaT+(0.98)
opseg od 130 do 135 -> f(27) = 0.00012073*ThetaT^3+(-0.00087775)*ThetaT^2+(-0.00062954)*ThetaT+(0.98)
opseg od 135 do 140 -> f(28) = -9.2554e-05*ThetaT^3+(0.00093321)*ThetaT^2+(-0.0003522)*ThetaT+(0.97)
opseg od 140 do 145 -> f(29) = 9.486e-06*ThetaT^3+(-0.0004551)*ThetaT^2+(0.0020384)*ThetaT+(0.98)
opseg od 145 do 150 -> f(30) = 5.461e-05*ThetaT^3+(-0.00031281)*ThetaT^2+(-0.0018012)*ThetaT+(0.98)
opseg od 150 do 155 -> f(31) = -6.7927e-05*ThetaT^3+(0.00050634)*ThetaT^2+(-0.00083355)*ThetaT+(0.97)
opseg od 155 do 160 -> f(32) = 5.7096e-05*ThetaT^3+(-0.00051256)*ThetaT^2+(-0.00086462)*ThetaT+(0.97)
opseg od 160 do 165 -> f(33) = -8.0457e-05*ThetaT^3+(0.00034388)*ThetaT^2+(-0.001708)*ThetaT+(0.96)
opseg od 165 do 170 -> +(34) = 0.00010473*ThetaT^3+(-0.00086298)*ThetaT^2+(-0.0043034)*ThetaT+(0.95)
opseg od 170 do 175 -> +(35) = -9.8475e-05*lheta1^3+(0.00070802)*lheta1^2+(-0.0050782)*lheta1+(0.92)
opseg od 1/5 do 180 -> +(36) = 0.0001291/*Inetal^3+(-0.000/691)*Inetal^2+(-0.0053836)*Inetal+(0.9)
opseg od 180 do 185 -> +(37) = -0.0001/819*1heta1^3+(0.0011684)*1heta1^2+(-0.00338/2)*1heta1+(0.87)
opseg od 185 do 190 -> T(38) = 0.00018559*InEtal"3+(-0.0015045)*InEtal"2+(-0.0050675)*InEtal+(0.86)
Opseg ou 190 do 195 -> T(39) = -0.00015018*/INEla1*5(0.0012494)*/INEla1*2+(-0.005420)*/INEla1+(0.02)
Opseg ou 195 00 200 -> T(40) = 0.00012114* Inteld":5+(-0.0012935)*Inteld":2+(-0.005502)*Inteld+(0.8)
Opseg ou 200 do 200 -> T(41) = -8.8384E-05*Intela1*3+(0.000/2382)*Intela1*2+(-0.00/4095)*Intela1+(0.76)
Obseq ou 200 du 210 -> $1(42) = 7.2550-05$ Theta $1.51+0.0000015$ Theta $1.251+0.0000001$ Theta $1.1(0.75)$
$ \begin{array}{c} \text{Opseg ou 210 uo 213 -7 (43) = -4.1133 e^{-0.5} \text{ literal } 5(0.00040357) \text{ literal } 7(-0.00735) \text{ literal } (0.03) \\ Opseg ou 216 uo 216 - 1 - 2200 (0.05100 + 1.1200 +$
Obseq of 210 do 220 -> $1(44) = 1.23642-05$ initial $54(-0.0001355)$ initial $24(-0.000555)$ initial (0.00)
$ \begin{array}{l} \text{Opseg} \ \text{od} \ 255 \ \text{od} \ 253 \ \text{od} \ 535 \ \text{od} \ 545 \ \ 5455 \ \text{od} \ 5455 \ \ 5455 \ \ 5455 \ \ 5455 \ \ 5455 \ \ 5455 $
onseg of 230 do 235 -> $f(47) = 4.431e-06*ThetaT^3+(0.9024137)*ThetaT^2+(-0.0053176)*ThetaT+(0.57)$
onseg of 235 do 240 \rightarrow f(48) = -3.8701e-05*ThetaT^3+(0.00030783)*ThetaT^2+(-0.0025716)*ThetaT+(-0.55)
opseg od 240 do 245 -> f(49) = -9.6257e-06*ThetaT^3+(-0.00027269)*ThetaT^2+(-0.0023959)*ThetaT+(0.54)
opseg od 245 do 250 -> f(50) = -2.7958e-06*ThetaT^3+(-0.00041707)*ThetaT^2+(-0.0058447)*ThetaT+(0.52)
opseg od 250 do 255 -> f(51) = 0.00010081*ThetaT^3+(-0.00045901)*ThetaT^2+(-0.010225)*ThetaT+(0.48)
opseg od 255 do 260 -> f(52) = -0.00072044*ThetaT^3+(0.0010531)*ThetaT^2+(-0.0072546)*ThetaT+(0.43)
opseg od 260 do 265 -> f(53) = 0.0012609*ThetaT^3+(-0.0097535)*ThetaT^2+(-0.050756)*ThetaT+(0.33)
opseg od 265 do 270 -> f(54) = -0.00064336*ThetaT^3+(0.0091608)*ThetaT^2+(-0.05372)*ThetaT+(-0.01)
opseg od 270 do 275 -> f(55) = 3.2474e-05*ThetaT^3+(-0.00048957)*ThetaT^2+(-0.010364)*ThetaT+(-0.13)
opseg od 275 do 280 -> f(56) = -4.6539e-05*ThetaT^3+(-2.4686e-06)*ThetaT^2+(-0.012824)*ThetaT+(-0.19)
opseg od 280 do 285 -> f(57) = -0.00016632*ThetaT^3+(-0.00070055)*ThetaT^2+(-0.016339)*ThetaT+(-0.26)
opseg od 285 do 290 -> f(58) = 0.00055181*ThetaT^3+(-0.0031953)*ThetaT^2+(-0.035819)*ThetaT+(-0.38)
opseg od 290 do 295 -> f(59) = -0.00044092*ThetaT^3+(0.0050818)*ThetaT^2+(-0.026386)*ThetaT+(-0.57)
opseg od 295 do 300 -> f(60) = 9.1888e-05*ThetaT^3+(-0.001532)*ThetaT^2+(-0.008637)*ThetaT+(-0.63)
opseg od 300 do 305 -> f(61) = 7.3373e-05*ThetaT^3+(-0.00015371)*ThetaT^2+(-0.017066)*ThetaT+(-0.7)
opseg od 305 do 310 -> t(62) = -6.5378e-05*ThetaT^3+(0.00094688)*ThetaT^2+(-0.0131)*ThetaT+(-0.78)
opseg od 310 do 315 -> +(63) = 2.8141e-05*1heta1^3+(-3.3798e-05)*ThetaT^2+(-0.0885345)*ThetaT+(-0.83)
opseg od 315 do 320 -> t(64) = -4.7185e-05*1heta1^3+(0.00038831)*ThetaT^2+(-0.006762)*ThetaT+(-0.87)
opseg og 320 go 325 -> t(b) = 8.0598e-05*lnetal^3+(-0.00031946)*lnetal^2+(-0.0064177)*lnetal+(-0.9)
$u_{pseg} = u_{pseg} = v_{pseg} = -v_{pseg} = -v_{pse$
upseg ou 330 up 335 -7 T(p/) = 0.00014023*1NETa1'3+(-0.0008380)*1NETa1'2+(-0.00033128)*1NETa1+(-0.94)
opseg ou soo ou s40 -> T(00) = -0.000125/2~TINE(d1)3+(0.0012649)*TINE(d1)2+(-0.0011814)*TINE(d1+(-0.96)
opser of 245 do 256 > (70) = 0.00012200 (10:10-17-0.0002293) (10:10-17-0.0001293) (10:10-17-0.00012033) (10:10-17-0.00)
opseg ou 359 do 359 -7 (1/7)0.00012491 (inclai 37(0.0012107) (inclai 27(0.002001) (inclai 1(-0.94)
onseg od 355 do 360 -> f(72) = 5.6982e-05*ThetaT^3+(0.00003475) ThetaT^2+(0.0055754)*ThetaT+(-0.87)

Izgled jednačina spline za nq=76.21 opseg od 0 do 5 -> f(1) = -2.0922e-05*ThetaT^3+(0.00071383)*ThetaT^2+(0.012954)*ThetaT+(-1.01)

$\alpha = \alpha = \alpha = 10^{-1}$, $f(2) = 2^{-1}$, $\theta = 0$
opseg ou 5 do 10^{-5} $1(2)^{-5} = -2.05222 + 05^{-11}$ field $-5 + (0.0004)^{-11}$ field $-2 + (0.010525)^{-11}$ field $+(-0.55)^{-1}$
opseg od 10 do 15 -> +(3) = 0.00010461*ThetaT^3+(8.617e-05)*ThetaT^2+(0.020954)*ThetaT+(-0.83)
opseg od 15 do 20 -> f(4) = -0.00031752*ThetaT^3+(0.0016553)*ThetaT^2+(0.029661)*ThetaT+(-0.71)
opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00044546*ThetaT^3+(-0.0031074)*ThetaT^2+(0.022401)*ThetaT+(-0.56)
opseg od 25 do 30 -> f(6) = -0.00026433*ThetaT^3+(0.0035745)*ThetaT^2+(0.024736)*ThetaT+(-0.47)
onseg of 30 do 35 -> $f(7) = 0.00077185*ThetaT^3+(-0.00039045)*ThetaT^2+(0.040656)*ThetaT+(-0.29)$
(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
obset of $40 + 7 + 7(8) = -0.0017051^{-1} \text{Held}^{-5}(0.011167)^{-1} \text{Held}^{-2}(0.03404)^{-1} \text{Held}^{-1}(0.54)$
opseg od 40 do 45 -> $f(9) = 0.0010805^{1}netal^{3}(-0.014359)^{1}netal^{2}(0.078783)^{1}netal+(0.54)$
opseg od 45 do 50 -> f(10) = -0.0001388*ThetaT^3+(0.0018482)*ThetaT^2+(0.016229)*ThetaT+(0.71)
opseg od 50 do 55 -> f(11) = -4.5273e-05*ThetaT^3+(-0.00023381)*ThetaT^2+(0.024301)*ThetaT+(0.82)
opseg od 55 do 60 -> f(12) = 7.9893e-05*ThetaT^3+(-0.00091292)*ThetaT^2+(0.018567)*ThetaT+(0.93)
onseg of 60 do 65 -> $f(13) = -3.4299e-05*ThetaT^3+(0.00028548)*ThetaT^2+(0.01543)*ThetaT+(1.01)$
(1) (2)
0 and 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
opseg ou /0 (0 /5 -> $T(15) = 4.5093e-05^{+1}$ (let 1.5) (-0.00056948) * Inetal (27(0.011/2) * Inetal +(1.16)
opseg od /5 do 80 -> \pm (16) = 2.3253e-06*lhetal^3+(0.00010692)*lhetal^2+(0.00940/3)*lhetal+(1.21)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = -5.4394e-05*ThetaT^3+(0.0001418)*ThetaT^2+(0.010651)*ThetaT+(1.26)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 5.5253e-05*ThetaT^3+(-0.00067412)*ThetaT^2+(0.0079893)*ThetaT+(1.31)
opseg od 90 do 95 -> f(19) = -8.6616e-05*ThetaT^3+(0.00015467)*ThetaT^2+(0.005392)*ThetaT+(1.34)
$p_{1} = 0$ on seg of 95 do 100 -> $f(20) = 0.00013121*ThetaT^2+(-0.0011446)*ThetaT^2+(0.00044257)*ThetaT+(1.36)$
(1) (2)
$0 \to 0 \to 0$ (21) - $0 \to 0 $
opseg ou iss up its -> ((22) = 0.000101030*11Etal-51(-0.000343/8)*11Etal-2(-0.001/353)*11Etal+(1.35)
opseg od 110 do 115 -> +(23) = -0.00012852*ThetaT^3+(0.00057552)*ThetaT^2+(-0.0036646)*ThetaT+(1.33)
opseg od 115 do 120 -> f(24) = 0.0001724*ThetaT^3+(-0.0013523)*ThetaT^2+(-0.0075485)*ThetaT+(1.31)
opseg od 120 do 125 -> f(25) = -8.1077e-05*ThetaT^3+(0.0012337)*ThetaT^2+(-0.0081415)*ThetaT+(1.26)
onseg of 125 do 130 -> $f(26) = -8.0899e-06*ThetaT^3+(1.7531e-05)*ThetaT^2+(-0.0018854)*ThetaT+(1.24)$
f(2) = 10 $f(2)$ $f($
$G_{12} = 0$ $G_{$
(1.52) = (1.52) =
opseg od 140 do 145 -> $f(29) = 6.9194e-05* lneta1^3+(-0.00028/13)* lneta1^2+(-0.0002942)* lneta1+(1.22)$
opseg od 145 do 150 -> f(30) = -7.1118e-05*ThetaT^3+(0.00075078)*ThetaT^2+(0.002024)*ThetaT+(1.22)
opseg od 150 do 155 -> f(31) = -2.4723e-05*ThetaT^3+(-0.00031599)*ThetaT^2+(0.004198)*ThetaT+(1.24)
opseg od 155 do 160 -> f(32) = 9.0009e-05*ThetaT^3+(-0.00068683)*ThetaT^2+(-0.00081608)*ThetaT+(1.25)
pnseg od 160 do 165 -> $f(33) = -9.5313e-05*ThetaT^3+(0.0006633)*ThetaT^2+(-0.0009337)*ThetaT+(1.24)$
(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
$0 \rightarrow 0 \rightarrow$
opseg ou 1/0 do 1/5 -> T(35) = -2.9653e-05*Theta1*3+(2.23/2e-06)*Theta1*2+(-0.0652699)*Theta1+(1.22)
opseg od 175 do 180 -> +(36) = -1.2628e-05*ThetaT^3+(-0.00044256)*ThetaT^2+(-0.0074715)*ThetaT+(1.19)
opseg od 180 do 185 -> f(37) = 1.653e-07*ThetaT^3+(-0.00063198)*ThetaT^2+(-0.012844)*ThetaT+(1.14)
opseg od 185 do 190 -> f(38) = 1.1967e-05*ThetaT^3+(-0.0006295)*ThetaT^2+(-0.019152)*ThetaT+(1.06)
opseg od 190 do 195 -> $f(39) = 0.00019197*ThetaT^3+(-0.00045)*ThetaT^2+(-0.024549)*ThetaT+(0.95)$
onseg of 195 do 200 -> $f(40) = -0.00021984*ThetaT^3+(0.0024295)*ThetaT^2+(-0.014652)*ThetaT+(0.84)$
$\frac{1}{2}$
0 + 200 = 0 + 200 = -7 + 1(41) = 4.75612 + 25 + 112(41) + 5(-2,0006606) + 112(41) + (-2,0006644) + 112(41) + (0,0)
opseg od 205 do 210 -> $T(42) = 3.0313e-05*inetal(-3+(-0.00015/33)*inetal(-2+(-0.0119/1)*inetal+(0.75))$
opseg od 210 do 215 -> +(43) = -8.6346e-06*[heta[^3+(0.00029737)*[heta[^2+(-0.011271)*[heta]+(0.69)
opseg od 215 do 220 -> f(44) = 4.2252e-06*ThetaT^3+(0.00016785)*ThetaT^2+(-0.0089449)*ThetaT+(0.64)
opseg od 220 do 225 -> f(45) = -8.266e-06*ThetaT^3+(0.00023123)*ThetaT^2+(-0.0069495)*ThetaT+(0.6)
opseg od 225 do 230 -> f(46) = 2.8839e-05*ThetaT^3+(0.00010724)*ThetaT^2+(-0.0052572)*ThetaT+(0.57)
$p_{1} = 0$ $(1, 1)$ $p_{1} = 0$ $(0, 0)$ $(1, 1)$ $(0, 0)$ $(1, 1)$ $(0, 0)$ $(1, 1)$ $(1, $
$0 \to 0 \to 0$ $0 \to 0$ \to 0
opseg ou 235 do 240 -> $\tau(48) = -4.81/10 - 07 \cdot 100 \pm 103 + (-0.001005) + 100 \pm 102 + (-0.0040534) + 100 \pm $
opseg od 240 do 245 -> $f(49) = 0.00010902*lnetal^3+(-0.0010/37)*lnetal^2+(-0.015357)*lnetal+(0.49)$
opseg od 245 do 250 -> f(50) = -3.5583e-05*ThetaT^3+(0.0005615)*ThetaT^2+(-0.017918)*ThetaT+(0.4)
opseg od 250 do 255 -> f(51) = -0.00012669*ThetaT^3+(2.7756e-05)*ThetaT^2+(-0.014972)*ThetaT+(0.32)
opseg od 255 do 260 -> f(52) = 0.00030232*ThetaT^3+(-0.0018725)*ThetaT^2+(-0.024195)*ThetaT+(0.23)
opseg od 260 do 265 -> f(53) = -0.00052261*ThetaT^3+(0.0026623)*ThetaT^2+(-0.020246)*ThetaT+(0.1)
$r_{1} = 0$ of $r_{1} = 0$ (0066811*TheteT^3+(-0.0051768)*TheteT^3+(-0.032819)*TheteT_(0.0051768)*TheteT_(0
2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 -
Observed 276 to $275 - 77(55) = -9.00050304^{-1}$ (HetaT 5+ $(0.00460449)^{-1}$ (HetaT $(-9.054476)^{-1}$ (HetaT $(-9.21)^{-1}$
opseg od 2/5 do 280 -> $T(56) = -6.8759e-05^{\circ}(neta)^{3}+(-0.0010027)^{\circ}(neta)^{2}+(-0.015268)^{\circ}(neta)+(-0.31)^{\circ}$
opseg od 280 do 285 -> f(57) = 0.00026487*ThetaT^3+(-0.0020341)*ThetaT^2+(-0.030451)*ThetaT+(-0.42)
opseg od 285 do 290 -> f(58) = -3.074e-05*ThetaT^3+(0.001939)*ThetaT^2+(-0.030927)*ThetaT+(-0.59)
opseg od 290 do 295 -> f(59) = -0.00014191*ThetaT^3+(0.0014779)*ThetaT^2+(-0.013842)*ThetaT+(-0.7)
onseg of 295 do 300 -> f(60) = 0.00019839*ThetaT^3+(-0.00065077)*ThetaT^2+(-0.009706)*ThetaT+(-0.75)
$r_{1} = 0$ and $r_{2} = 0$ (0.0025166*ThetaT(2+0.002351)*ThetaT(2+0.0013(3))*ThetaT(0+0.0013(3))*ThetaT(
$\frac{1}{2} \int \frac{1}{2} \int \frac{1}$
opset of 300 do 310 -> $1(02) = 0.02440-00000000000000000000000000000000$
upseg ou sus us si -> T(b3) = -2.13160-05*Inetal^3+(-0.0001261)*Inetal^2+(-0.0048366)*Inetal+(-0.78)
opseg od 315 do 320 -> f(64) = -2.9795e-06*ThetaT^3+(-0.00044584)*ThetaT^2+(-0.0076963)*ThetaT+(-0.81)
opseg od 320 do 325 -> f(65) = 0.00011323*ThetaT^3+(-0.00049053)*ThetaT^2+(-0.012378)*ThetaT+(-0.86)
opseg od 325 do 330 -> f(66) = -0.00012996*ThetaT^3+(0.001208)*ThetaT^2+(-0.008791)*ThetaT+(-0.92)
opseg od 330 do 335 -> f(67) = 8.6591e-05*ThetaT^3+(-0.00074137)*ThetaT^2+(-0.0064579)*ThetaT+(-0.95)
$a_{1} = a_{1} + a_{2} + a_{3} + a_{1} + a_{2} + a_{3} + a_{3$
$\sigma_{12} = \sigma_{12} = \sigma$
opseg ou sko uo sko> ((o) = ->
opseg og 345 go 350 -> t(/0) = -1.9/4/e-05/ineta1^3+(0.00059696)*Theta1^2+(-0.0044911)*ThetaT+(-1.05)
opseg od 350 do 355 -> f(71) = 1.9949e-05*ThetaT^3+(0.00030076)*ThetaT^2+(-2.53e-06)*ThetaT+(-1.06)
opseg od 355 do 360 -> f(72) = 1.9949e-05*ThetaT^3+(0.0006)*ThetaT^2+(0.0045013)*ThetaT+(-1.05)

Izgled jednačina spline za nq=85.21

opse	g od 0 do 5 -> f(1) = -1.6222e-05*ThetaT^3+(0.00044333)*ThetaT^2+(0.012189)*ThetaT+(-1.1)
opse	g od 5 do 10 -> f(2) = -1.6222e-05*ThetaT^3+(0.0002)*ThetaT^2+(0.015406)*ThetaT+(-1.03)
opse	g od 10 do 15 -> f(3) = 8.1111e-05*ThetaT^3+(-4.3333e-05)*ThetaT^2+(0.016189)*ThetaT+(-0.95)
opse	g od 15 do 20 -> f(4) = -6.8222e-05*ThetaT^3+(0.0011733)*ThetaT^2+(0.021839)*ThetaT+(-0.86)
opse	g od 20 do 25 -> f(5) = -0.00012822*ThetaT^3+(0.00015001)*ThetaT^2+(0.028456)*ThetaT+(-0.73)
opse	g od 25 do 30 -> f(6) = 0.0012211*ThetaT^3+(-0.0017734)*ThetaT^2+(0.020339)*ThetaT+(-0.6)
opse	g od 30 do 35 -> f(7) = -0.0020363*ThetaT^3+(0.016543)*ThetaT^2+(0.094189)*ThetaT+(-0.39)
opse	g od 35 do 40 -> f(8) = 0.00092391*ThetaT^3+(-0.014)*ThetaT^2+(0.1069)*ThetaT+(0.24)
opse	g od 40 do 45 -> f(9) = -5.9382e-05*ThetaT^3+(-0.00014177)*ThetaT^2+(0.036193)*ThetaT+(0.54)
opse	g od 45 do 50 -> f(10) = 3.3618e-05*ThetaT^3+(-0.0010325)*ThetaT^2+(0.030322)*ThetaT+(0.71)
opse	g od 50 do 55 -> f(11) = 4.9092e-06*ThetaT^3+(-0.00052823)*ThetaT^2+(0.022518)*ThetaT+(0.84)
opse	g od 55 do 60 -> f(12) = 2.6745e-05*ThetaT^3+(-0.00045459)*ThetaT^2+(0.017604)*ThetaT+(0.94)
opse	g od 60 do 65 -> f(13) = -3.1889e-05*ThetaT^3+(-5.3416e-05)*ThetaT^2+(0.015064)*ThetaT+(1.02)
opse	g od 65 do 70 -> f(14) = 2.081e-05*ThetaT^3+(-0.00053175)*ThetaT^2+(0.012138)*ThetaT+(1.09)
opse	g od 70 do 75 -> f(15) = 2.8648e-05*ThetaT^3+(-0.00021959)*ThetaT^2+(0.0083818)*ThetaT+(1.14)
opse	g od 75 do 80 -> f(16) = -5.5401e-05*ThetaT^3+(0.00021012)*ThetaT^2+(0.0083344)*ThetaT+(1.18)
opse	g od 80 do 85 -> f(17) = 3.2956e-05*ThetaT^3+(-0.00062089)*ThetaT^2+(0.0062806)*ThetaT+(1.22)
opse	g od 85 do 90 -> f(18) = 3.5756e-06*ThetaT^3+(-0.00012655)*ThetaT^2+(0.0025434)*ThetaT+(1.24)

opseg	od	90 0	do 9	95 -:	> f	(19) =	3	.2741e-05*ThetaT^3+(-7.2914e-05)*ThetaT^2+(0.001546)*ThetaT+(1.25)
opseg	od	95 d	do 1	100 ·	-> -	F(20)	= -	-5.4541e-05*ThetaT^3+(0.0004182)*ThetaT^2+(0.0032725)*ThetaT+(1.26)
opseg	od	100	do	105	- >	f(21)	=	2.5421e-05*ThetaT^3+(-0.0003999)*ThetaT^2+(0.003364)*ThetaT+(1.28)
opseg	od	105	do	110	->	f(22)	=	3.2855e-05*ThetaT^3+(-1.8586e-05)*ThetaT^2+(0.0012715)*ThetaT+(1.29)
opseg	od	110	do	115	->	f(23)	=	-7.6843e-05*ThetaT^3+(0.00047425)*ThetaT^2+(0.0035498)*ThetaT+(1.3)
onseg	od	115	do	120	- >	f(24)	=	3.4518e-05*ThetaT^3+(-0.0006784)*ThetaT^2+(0.0025291)*ThetaT+(1.32)
onseg	od	120	do	125	->	f(25)	=	1.8773e-05*ThetaT^3+(-0.00016064)*ThetaT^2+(-0.0016661)*ThetaT+(1.32)
onseg	od	125	do	130	- >	f(26)	=	-2.9609e-05*ThetaT^3+(0.00012095)*ThetaT^2+(-0.0018645)*ThetaT+(1.31)
onseg	od	130	do	135	->	f(27)	=	1.9663e-05*ThetaT^3+(-0.00032318)*ThetaT^2+(-0.0028757)*ThetaT+(1.3)
onseg	od	135	do	140	->	f(28)	=	3.0958e-05*ThetaT^3+(-2.8237e-05)*ThetaT^2+(-0.0046328)*ThetaT+(1.28)
onseg	od	140	do	145	- >	f(29)	=	-6.3494e-05*ThetaT^3+(0.00043613)*ThetaT^2+(-0.0025933)*ThetaT+(1.26)
onseg	od	145	do	150	->	f(30)	_	$6 3016e-05*ThetaT^3+(-0 00051627)*ThetaT^2+(-0 002994)*ThetaT+(1 25)$
onseg	od	150	do	155		f(30)	_	$-2.8572_{-}05*ThetaT^{2}(0.0003182))$ ThetaT^2+(-0.0034306)*ThetaT+(1.23)
onseg	od	155	do	160		f(32)		-2.8728-05 ThetaT $51(0.00042057)$ ThetaT $21(-0.0054500)$ ThetaT (1.25)
onseg	od	160	do	165		f(32)		-2.0726-05 metal $51(5.0052-07)$ metal $21(-0.0012057)$ metal $(1.22)6 3/85_{0-}05*Thot tar (-0.00013053)*Thot tar (-0.003/3/5)*Thot tar (-0.0012057)$
opseg	od	165	do	170	- (F(24)		(-0.000+303) metal $2!(-0.000+303)$ metal (1.21)
opseg	od	170	do	170	- (- (34) - (35)	_	-0.5215-05 metal $5+(0.00052175)$ metal $2+(-0.0025764)$ metal (1.15)
opseg	od	170	do	100	->	1(33) £(36)	_	$3.73070-05^{\circ}$ Inetal $3+(-0.00045045)^{\circ}$ Inetal $2+(-0.0020519)^{\circ}$ Inetal $+(1.10)$
opseg	ou	100	do	100	->	- (30) - (37)	=	$-4.25592-00^{\circ}$ IIIeta $-5+(0.00010400)^{\circ}$ IIIeta $-2+(-0.0044159)^{\circ}$ IIIeta $+(1.10)^{\circ}$
opseg	00	100	do	100	->	T(37)	=	$-2.0344e-05^{*}$ Inetal $-3+(4.022e-05)^{*}$ Inetal $-2+(-0.0036925)^{*}$ Inetal $+(1.14)$
opseg	oa	185	ao	190	->	T(38)	=	$5.6310-06^{+}$ Inetal $^{+}(-0.00026494)^{+}$ Inetal $^{-}2+(-0.0048161)^{+}$ Inetal $^{+}(1.12)$
opseg	oa	190	ao	195	->	T(39)	=	-2.1803e-06*Inetal^3+(-0.0001804/)*Inetal^2+(-0.0070431)*Inetal+(1.09)
opseg	oa	192	ao	200	->	T(40)	=	-7.691e-05*inetal^3+(-0.00021318)*inetal^2+(-0.0090114)*inetal+(1.05)
opseg	od	200	do	205	->	+(41)	=	0.00014982*ThetaT^3+(-0.0013668)*ThetaT^2+(-0.016911)*ThetaT+(0.99)
opseg	od	205	do	210	->	+(42)	=	-4.2369e-05*ThetaT^3+(0.00088047)*ThetaT^2+(-0.019343)*ThetaT+(0.89)
opseg	od	210	do	215	->	+(43)	=	-6.0345e-05*ThetaT^3+(0.00024494)*ThetaT^2+(-0.013716)*ThetaT+(0.81)
opseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	0.00012375*ThetaT^3+(-0.00066024)*ThetaT^2+(-0.015793)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	220	do	225	->	f(45)	=	-0.00011465*ThetaT^3+(0.001196)*ThetaT^2+(-0.013114)*ThetaT+(0.66)
opseg	od	225	do	230	->	f(46)	=	1.4864e-05*ThetaT^3+(-0.0005238)*ThetaT^2+(-0.0097526)*ThetaT+(0.61)
opseg	od	230	do	235	->	f(47)	=	0.0001352*ThetaT^3+(-0.00030083)*ThetaT^2+(-0.013876)*ThetaT+(0.55)
opseg	od	235	do	240	- >	f(48)	=	-7.5647e-05*ThetaT^3+(0.0017271)*ThetaT^2+(-0.0067444)*ThetaT+(0.49)
opseg	od	240	do	245	- >	f(49)	=	-7.2607e-05*ThetaT^3+(0.0005924)*ThetaT^2+(0.0048532)*ThetaT+(0.49)
opseg	od	245	do	250	->	f(50)	=	4.6074e-05*ThetaT^3+(-0.0004967)*ThetaT^2+(0.0053317)*ThetaT+(0.52)
opseg	od	250	do	255	- >	f(51)	=	-3.1691e-05*ThetaT^3+(0.00019441)*ThetaT^2+(0.0038202)*ThetaT+(0.54)
opseg	od	255	do	260	- >	f(52)	=	6.8836e-07*ThetaT^3+(-0.00028095)*ThetaT^2+(0.0033875)*ThetaT+(0.56)
opseg	od	260	do	265	- >	f(53)	=	2.8937e-05*ThetaT^3+(-0.00027062)*ThetaT^2+(0.00062968)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	-3.6437e-05*ThetaT^3+(0.00016344)*ThetaT^2+(9.3751e-05)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	3.6812e-05*ThetaT^3+(-0.00038312)*ThetaT^2+(-0.0010047)*ThetaT+(0.57)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	-0.00011081*ThetaT^3+(0.00016906)*ThetaT^2+(-0.002075)*ThetaT+(0.56)
opseg	od	280	do	285	- >	f(57)	=	8.6429e-05*ThetaT^3+(-0.0014931)*ThetaT^2+(-0.0086952)*ThetaT+(0.54)
opseg	od	285	do	290	- >	f(58)	=	8.5094e-05*ThetaT^3+(-0.00019666)*ThetaT^2+(-0.017144)*ThetaT+(0.47)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	-0.0010668*ThetaT^3+(0.0010797)*ThetaT^2+(-0.012729)*ThetaT+(0.39)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	0.0019421*ThetaT^3+(-0.014922)*ThetaT^2+(-0.081941)*ThetaT+(0.22)
opseg	od	300	do	305	- >	f(61)	=	-0.0010217*ThetaT^3+(0.01421)*ThetaT^2+(-0.085505)*ThetaT+(-0.32)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	0.00014464*ThetaT^3+(-0.0011158)*ThetaT^2+(-0.020037)*ThetaT+(-0.52)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	-3.6854e-05*ThetaT^3+(0.0010537)*ThetaT^2+(-0.020347)*ThetaT+(-0.63)
onseg	od	315	do	320	- >	f(64)	=	-7.7219e-05*ThetaT^3+(0.00050091)*ThetaT^2+(-0.012574)*ThetaT+(-0.71)
onseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	0.00010573*ThetaT^3+(-0.00065738)*ThetaT^2+(-0.013356)*ThetaT+(-0.77)
onseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	-0.00010571*ThetaT^3+(0.0009286)*ThetaT^2+(-0.012)*ThetaT+(-0.84)
onseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	7.7101e-05*ThetaT^3+(-0.00065702)*ThetaT^2+(-0.010642)*ThetaT+(-0.89)
onseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	-4.2695e-05*ThetaT^3+(0.00049949)*ThetaT^2+(-0.01143)*ThetaT+(-0.95)
onseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	1.3679e-05*ThetaT^3+(-0.00014093)*ThetaT^2+(-0.0096373)*ThetaT+(-1)
onseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	-1.2021e-05*ThetaT^3+(6.4249e-05)*ThetaT^2+(-0.010021)*ThetaT+(-1.05)
onseg	od	350	do	355		f(71)	=	0 0001144*ThetaT^3+(-0 00011606)*ThetaT^2+(-0 01028)*ThetaT+(-1 1)
onseg	od	355	do	360		f(72)	-	0 0001144*ThetaT^3+(0 0016)*ThetaT^2+(-0 0028601)*ThetaT+(-1 1/)
ohaed	ou	ورر	uU	200	-/	· (/∠)	-	0.00011++ Inecal 5((0.0010) Inecal 2+(-0.0028001) Inecal+(-1.14)

Izgled jednačina spline za nq=96.85

opseg od 0 do 5 -> f(1) = 8.115e-06*ThetaT^3+(-0.00012172)*ThetaT^2+(0.012406)*ThetaT+(-0.74)	
opseg od 5 do 10 -> f(2) = 8.115e-06*ThetaT^3+(2.4259e-18)*ThetaT^2+(0.011797)*ThetaT+(-0.68)	
opseg od 10 do 15 -> f(3) = 3.9425e-05*ThetaT^3+(0.00012172)*ThetaT^2+(0.012406)*ThetaT+(-0.62)	
opseg od 15 do 20 -> f(4) = -8.5815e-05*ThetaT^3+(0.0007131)*ThetaT^2+(0.01658)*ThetaT+(-0.55)	
opseg od 20 do 25 -> f(5) = 0.00022384*ThetaT^3+(-0.00057413)*ThetaT^2+(0.017275)*ThetaT+(-0.46)	
opseg od 25 do 30 -> f(6) = 0.00039047*ThetaT^3+(0.0027834)*ThetaT^2+(0.028321)*ThetaT+(-0.36)	
opseg od 30 do 35 -> f(7) = -0.0013857*ThetaT^3+(0.0086405)*ThetaT^2+(0.085441)*ThetaT+(-0.1)	
opseg od 35 do 40 -> f(8) = 0.0010724*ThetaT^3+(-0.012145)*ThetaT^2+(0.067917)*ThetaT+(0.37)	
opseg od 40 do 45 -> f(9) = -0.0005038*ThetaT^3+(0.0039405)*ThetaT^2+(0.026893)*ThetaT+(0.54)	
opseg od 45 do 50 -> f(10) = 0.00038283*ThetaT^3+(-0.0036166)*ThetaT^2+(0.028512)*ThetaT+(0.71)	
opseg od 50 do 55 -> f(11) = -0.00030754*ThetaT^3+(0.0021259)*ThetaT^2+(0.021059)*ThetaT+(0.81)	
opseg od 55 do 60 -> $f(12) = 0.00036731*ThetaT^3+(-0.0024871)*ThetaT^2+(0.019253)*ThetaT+(0.93)$	
opseg od 60 do 65 -> f(13) = -0.00044171*ThetaT^3+(0.0030225)*ThetaT^2+(0.02193)*ThetaT+(1.01)	
opseg od 65 do 70 -> f(14) = 0.00035952*ThetaT^3+(-0.0036031)*ThetaT^2+(0.019027)*ThetaT+(1.14)	
opseg od 70 do 75 -> f(15) = -0.00027637*ThetaT^3+(0.0017897)*ThetaT^2+(0.0099607)*ThetaT+(1.19)	
opseg od 75 do 80 -> f(16) = 0.00026597*ThetaT^3+(-0.0023559)*ThetaT^2+(0.00713)*ThetaT+(1.25)	
opseg od 80 do 85 -> f(17) = -0.00014752*ThetaT^3+(0.0016337)*ThetaT^2+(0.0035193)*ThetaT+(1.26)	
opseg od 85 do 90 -> f(18) = 4.1056e-06*ThetaT^3+(-0.00057906)*ThetaT^2+(0.0087927)*ThetaT+(1.3)	
opseg od 90 do 95 -> f(19) = 5.1097e-05*ThetaT^3+(-0.00051748)*ThetaT^2+(0.00331)*ThetaT+(1.33)	
opseg od 95 do 100 -> f(20) = -4.8495e-05*ThetaT^3+(0.00024898)*ThetaT^2+(0.0019675)*ThetaT+(1.34)	
opseg od 100 do 105 -> f(21) = -1.7116e-05*ThetaT^3+(-0.00047845)*ThetaT^2+(0.00082015)*ThetaT+(1.35)	
opseg od 105 do 110 -> f(22) = 0.00011696*ThetaT^3+(-0.00073519)*ThetaT^2+(-0.0052481)*ThetaT+(1.34)	
opseg od 110 do 115 -> f(23) = -0.00013073*ThetaT^3+(0.0010192)*ThetaT^2+(-0.0038279)*ThetaT+(1.31)	
opseg od 115 do 120 -> f(24) = 8.5948e-05*ThetaT^3+(-0.00094169)*ThetaT^2+(-0.0034403)*ThetaT+(1.3)	
opseg od 120 do 125 -> f(25) = -5.3066e-05*ThetaT^3+(0.00034754)*ThetaT^2+(-0.006411)*ThetaT+(1.27)	
opseg od 125 do 130 -> f(26) = 4.6316e-05*ThetaT^3+(-0.00044846)*ThetaT^2+(-0.0069156)*ThetaT+(1.24)	
opseg od 130 do 135 -> f(27) = 2.7801e-05*ThetaT^3+(0.00024629)*ThetaT^2+(-0.0079265)*ThetaT+(1.2)	
opseg od 135 do 140 -> f(28) = 2.4808e-06*ThetaT^3+(0.0006633)*ThetaT^2+(-0.0033785)*ThetaT+(1.17)	
opseg od 140 do 145 -> f(29) = -3.7724e-05*ThetaT^3+(0.00070051)*ThetaT^2+(0.0034405)*ThetaT+(1.17)	
opseg od 145 do 150 -> f(30) = -9.1585e-05*ThetaT^3+(0.00013465)*ThetaT^2+(0.0076164)*ThetaT+(1.2)	
opseg od 150 do 155 -> f(31) = 8.4065e-05*ThetaT^3+(-0.0012391)*ThetaT^2+(0.002094)*ThetaT+(1.23)	
opseg od 155 do 160 -> f(32) = -4.6731e-06*ThetaT^3+(2.1844e-05)*ThetaT^2+(-0.0039924)*ThetaT+(1.22)	
opseg od 160 do 165 -> f(33) = 1.4628e-05*ThetaT^3+(-4.8252e-05)*ThetaT^2+(-0.0041244)*ThetaT+(1.2)	
opseg od 165 do 170 -> +(34) = -5.3838e-05*Iheta1^3+(0.00017116)*ThetaT^2+(-0.0035099)*ThetaT+(1.18)	
opseg od 170 do 175 -> +(35) = 4.0725e-05*ihetaī^3+(-0.00063641)*ThetaT^2+(-0.0058361)*ThetaT+(1.16)	

opseg	od	175	do	180	->	f(36)	=	5.094e-05*ThetaT^3+(-2.5539e-05)*ThetaT^2+(-0.0091458)*ThetaT+(1.12)
opseg	od	180	do	185	->	f(37)	=	-0.00016448*ThetaT^3+(0.00073856)*ThetaT^2+(-0.0055807)*ThetaT+(1.08)
opseg	od	185	do	190	->	f(38)	=	0.000127*ThetaT^3+(-0.0017287)*ThetaT^2+(-0.010531)*ThetaT+(1.05)
opseg	od	190	do	195	->	f(39)	=	5.6491e-05*ThetaT^3+(0.00017627)*ThetaT^2+(-0.018294)*ThetaT+(0.97)
opseg	od	195	do	200	->	f(40)	=	-0.00011296*ThetaT^3+(0.0010236)*ThetaT^2+(-0.012294)*ThetaT+(0.89)
opseg	od	200	do	205	->	f(41)	=	7.5362e-05*ThetaT^3+(-0.00067081)*ThetaT^2+(-0.01053)*ThetaT+(0.84)
opseg	od	205	do	210	->	f(42)	=	-2.8484e-05*ThetaT^3+(0.00045961)*ThetaT^2+(-0.011586)*ThetaT+(0.78)
opseg	od	210	do	215	->	f(43)	=	3.8574e-05*ThetaT^3+(3.2355e-05)*ThetaT^2+(-0.0091261)*ThetaT+(0.73)
opseg	od	215	do	220	->	f(44)	=	-4.5812e-05*ThetaT^3+(0.00061097)*ThetaT^2+(-0.0059095)*ThetaT+(0.69)
opseg	od	220	do	225	->	f(45)	=	6.4676e-05*ThetaT^3+(-7.622e-05)*ThetaT^2+(-0.0032358)*ThetaT+(0.67)
opseg	od	225	do	230	->	f(46)	=	2.711e-05*ThetaT^3+(0.00089391)*ThetaT^2+(0.00085268)*ThetaT+(0.66)
opseg	od	230	do	235	->	f(47)	=	-0.00033312*ThetaT^3+(0.0013006)*ThetaT^2+(0.011825)*ThetaT+(0.69)
opseg	od	235	do	240	->	f(48)	=	0.00034536*ThetaT^3+(-0.0036962)*ThetaT^2+(-0.00015298)*ThetaT+(0.74)
opseg	od	240	do	245	->	f(49)	=	-0.0001683*ThetaT^3+(0.0014841)*ThetaT^2+(-0.011213)*ThetaT+(0.69)
opseg	od	245	do	250	->	f(50)	=	8.786e-05*ThetaT^3+(-0.0010404)*ThetaT^2+(-0.0089945)*ThetaT+(0.65)
opseg	od	250	do	255	->	f(51)	=	-2.3137e-05*ThetaT^3+(0.00027749)*ThetaT^2+(-0.012809)*ThetaT+(0.59)
opseg	od	255	do	260	->	f(52)	=	0.00016469*ThetaT^3+(-6.9558e-05)*ThetaT^2+(-0.011769)*ThetaT+(0.53)
opseg	od	260	do	265	->	f(53)	=	-0.0014356*ThetaT^3+(0.0024007)*ThetaT^2+(-0.00011346)*ThetaT+(0.49)
opseg	od	265	do	270	->	f(54)	=	0.0024578*ThetaT^3+(-0.019133)*ThetaT^2+(-0.083777)*ThetaT+(0.37)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	-0.0014354*ThetaT^3+(0.017733)*ThetaT^2+(-0.090779)*ThetaT+(-0.22)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	0.00048384*ThetaT^3+(-0.0037981)*ThetaT^2+(-0.021105)*ThetaT+(-0.41)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	-0.00033995*ThetaT^3+(0.0034595)*ThetaT^2+(-0.022799)*ThetaT+(-0.55)
opseg	od	285	do	290	->	f(58)	=	0.00023597*ThetaT^3+(-0.0016398)*ThetaT^2+(-0.0137)*ThetaT+(-0.62)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	-0.00028391*ThetaT^3+(0.0018997)*ThetaT^2+(-0.012401)*ThetaT+(-0.7)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	0.00025967*ThetaT^3+(-0.002359)*ThetaT^2+(-0.014697)*ThetaT+(-0.75)
opseg	od	300	do	305	->	f(61)	=	-0.00011479*ThetaT^3+(0.0015361)*ThetaT^2+(-0.018811)*ThetaT+(-0.85)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	3.9468e-05*ThetaT^3+(-0.00018563)*ThetaT^2+(-0.012059)*ThetaT+(-0.92)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	3.6915e-05*ThetaT^3+(0.00040638)*ThetaT^2+(-0.010955)*ThetaT+(-0.98)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	-0.00010713*ThetaT^3+(0.00096011)*ThetaT^2+(-0.0041223)*ThetaT+(-1.02)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	7.1594e-05*ThetaT^3+(-0.0006468)*ThetaT^2+(-0.0025558)*ThetaT+(-1.03)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	-1.9249e-05*ThetaT^3+(0.00042711)*ThetaT^2+(-0.0036543)*ThetaT+(-1.05)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	5.4003e-06*ThetaT^3+(0.00013838)*ThetaT^2+(-0.0008269)*ThetaT+(-1.06)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	-2.3525e-06*ThetaT^3+(0.00021938)*ThetaT^2+(0.0009619)*ThetaT+(-1.06)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	4.0098e-06*ThetaT^3+(0.00018409)*ThetaT^2+(0.0029793)*ThetaT+(-1.05)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	0.00014631*ThetaT^3+(0.00024424)*ThetaT^2+(0.005121)*ThetaT+(-1.03)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	-0.00018926*ThetaT^3+(0.0024389)*ThetaT^2+(0.018537)*ThetaT+(-0.98)
opseg	od	355	do	360	->	f(72)	=	-0.00018926*ThetaT^3+(-0.0004)*ThetaT^2+(0.028732)*ThetaT+(-0.85)

Izgled jednačina spline za nq=100.56

0 0 0 0 0 0 5 $->$ $f(1) = -6.8688e - 05*ThetaT^3+(0.0018303)*ThetaT^2+(-0.0014344)*ThetaT+(-1.26)$
(1,2) $(1,2)$ $(1,2$
(1, 2) = 0 $(1, 2) = 0$ $(1,$
(-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1,
$Opseg \ Ou \ 15 \ Ou \ 20 \ -7 \ (4) = 5.4925 - 95 \ (Held - 51(9,000) - 1212) \ (Held - 21(9,000) - 100) \ (4) = 5.4925 - 95 \ (Held - 51(9,000) - 100) \ (4) = 5.4925 - 95 \ (4) = 5.4$
$Opseg \ Od \ 20 \ do \ 25 \ -7 \ T(5) = -8.31410 + 0^{-1} \ln (2d^{-1})^{-1} \ln (2d^{-1})^{-$
opseg od 25 do 30 -> $T(6) = 3.764e-05*1neta1^3(-0.00030195)*1neta1^2+(0.022569)*1neta1+(-0.9)$
opseg od 30 do 35 -> $+(7) = 0.0015326* lheta[^3+(0.00026265)* lheta[^2+(0.022372)* lheta]+(-0.79)$
opseg od 35 do 40 -> f(8) = -0.003128*ThetaT^3+(0.023251)*ThetaT^2+(0.13994)*ThetaT+(-0.48)
opseg od 40 do 45 -> f(9) = 0.0016193*ThetaT^3+(-0.023668)*ThetaT^2+(0.13786)*ThetaT+(0.41)
opseg od 45 do 50 -> f(10) = -6.9173e-05*ThetaT^3+(0.00062115)*ThetaT^2+(0.022624)*ThetaT+(0.71)
opseg od 50 do 55 -> f(11) = 1.7409e-05*ThetaT^3+(-0.00041645)*ThetaT^2+(0.023647)*ThetaT+(0.83)
opseg od 55 do 60 -> f(12) = -4.6074e-07*ThetaT^3+(-0.00015533)*ThetaT^2+(0.020788)*ThetaT+(0.94)
opseg od 60 do 65 -> f(13) = -1.5566e-05*ThetaT^3+(-0.00016224)*ThetaT^2+(0.0192)*ThetaT+(1.04)
opseg od 65 do 70 -> f(14) = -1.7277e-05*ThetaT^3+(-0.00039572)*ThetaT^2+(0.016411)*ThetaT+(1.13)
opseg od 70 do 75 -> f(15) = 8.4674e-05*ThetaT^3+(-0.00065488)*ThetaT^2+(0.011158)*ThetaT+(1.2)
opseg od 75 do 80 -> f(16) = -8.1417e-05*ThetaT^3+(0.00061523)*ThetaT^2+(0.010959)*ThetaT+(1.25)
opseg od 80 do 85 -> f(17) = 8.0995e-05*ThetaT^3+(-0.00060603)*ThetaT^2+(0.011005)*ThetaT+(1.31)
opseg od 85 do 90 -> f(18) = -8.2562e-05*ThetaT^3+(0.00060889)*ThetaT^2+(0.01102)*ThetaT+(1.36)
$p_{1} = p_{2}$ $p_{2} = p_{2}$ p_{2} $p_{2} = p_{2}$ $p_{2} = p_{2}$ p_{2} $p_{2} = p_{2}$ p_{2} $p_{2} = p_{2}$ p_{2} p_{2} $p_{2} = p_{2}$ p_{2} p_{2
(21) (21)
$0 \to 0 \to$
$f_{1,2}$ $f_{2,1}$ f_{2
$0 \to 0 \to 0$ $10 \to 1(22) = -7.575 \to 0.575 \to 0.$
opseg ou 110 00 115 -> $7(25) = 5.04642-05$ THELAT (3+(-0.0002/361) THELAT (2+(0.012610) THELAT (1.05))
opseg od 115 do $120 - 5 \tau(24) = -4.21/6e - 65^{+} \ln eta 1^{-3} + (0.00018165)^{+} \ln eta 1^{-2} + (0.012146)^{+} \ln eta 1^{+} + (1.69)$
opseg od 120 do 125 -> +(25) = 5.822e-05* hetal*3+(-0.00045099)* hetal*2+(0.010799)* hetal+(1.75)
opseg od 125 do 130 -> $f(26) = -0.0001107*[heta]^3+(0.00042231)*[heta]^2+(0.010656)*[heta]+(1.8)$
opseg od 130 do 135 -> f(27) = 0.0001446*ThetaT^3+(-0.0012383)*ThetaT^2+(0.0065763)*ThetaT+(1.85)
opseg od 135 do 140 -> f(28) = -0.00014769*ThetaT^3+(0.00093071)*ThetaT^2+(0.0050386)*ThetaT+(1.87)
opseg od 140 do 145 -> f(29) = 0.00012615*ThetaT^3+(-0.0012846)*ThetaT^2+(0.0032692)*ThetaT+(1.9)
opseg od 145 do 150 -> f(30) = -0.00011691*ThetaT^3+(0.00060764)*ThetaT^2+(-0.0001155)*ThetaT+(1.9)
opseg od 150 do 155 -> f(31) = 0.00010149*ThetaT^3+(-0.001146)*ThetaT^2+(-0.0028072)*ThetaT+(1.9)
opseg od 155 do 160 -> f(32) = -0.00012903*ThetaT^3+(0.00037629)*ThetaT^2+(-0.0066557)*ThetaT+(1.87)
opseg od 160 do 165 -> f(33) = 1.4644e-05*ThetaT^3+(-0.0015592)*ThetaT^2+(-0.01257)*ThetaT+(1.83)
opseg od 165 do 170 -> f(34) = 0.00015046*ThetaT^3+(-0.0013395)*ThetaT^2+(-0.027064)*ThetaT+(1.73)
opseg od 170 do 175 -> f(35) = -0.00021647*ThetaT^3+(0.0009173)*ThetaT^2+(-0.029175)*ThetaT+(1.58)
opseg od 175 do 180 -> f(36) = 0.00039541*ThetaT^3+(-0.0023297)*ThetaT^2+(-0.036237)*ThetaT+(1.43)
onseg od 180 do 185 -> $f(37) = -0.00032517*ThetaT^3+(0.0036014)*ThetaT^2+(-0.029878)*ThetaT+(1.24)$
opseg od 185 do 190 -> f(38) = 0.00018527*ThetaT^3+(-0.0012761)*ThetaT^2+(-0.018251)*ThetaT+(1.14)
onseg od 190 do 195 -> f(3) = -9.5911e-05*ThetaT^3+(0.001503)*ThetaT^2+(-0.017117)*ThetaT+(1.04)
(100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100,
(0, 0) = 0 $(0, 0) = 0$ $(-1, 0) = -4$ $(0, 0) = 0$ $(-1, 0) = 0$ $(-$
0 = 0 $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0$ $0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0 = 0$
$\sigma_{1} = \sigma_{1} = \sigma_{1$
$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{1}$
$Opseg \ Od \ 215 \ Od \ 226 \ -> \ T(44) = -0.0001505^{+} \text{Inteld}^{+}(3.0016006)^{+} \text{Inteld}^{+}(2.4)(-0.018238)^{+} \text{Inteld}^{+}(0.72)$
upseg ou zzo uo zzo -> i(45) = 3.2/05e-05*ihetaist-0.00005842)*ihetai:2(-0.01352/)*ihetai+(0.05)
opseg od 225 do 230 -> $f(46) = 1.9552e-05^{+} \ln eta1^{-3}4(-0.0001669)^{+} \ln eta1^{-2}+(-0.01/654)^{+} \ln eta1+(0.57)$
opseg og 230 go 235 -> T(4/) = -3.09/2e-05*1netal^3+(0.00012631)*1netal^2+(-0.017857)*1netal+(0.48)
opseg od 235 do 240 -> t(48) = 0.00010434*ihetaT3+(-0.00033827)*ihetaT^2+(-0.018917)*ThetaT+(0.39)
opseg od 240 do 245 -> t(49) = -0.00022637*ThetaT^3+(0.0012268)*ThetaT^2+(-0.014475)*ThetaT+(0.3)
opseg od 245 do 250 -> f(50) = 0.00032114*ThetaT^3+(-0.0021688)*ThetaT^2+(-0.019185)*ThetaT+(0.23)
opseg od 250 do 255 -> f(51) = -0.00057819*ThetaT^3+(0.0026483)*ThetaT^2+(-0.016787)*ThetaT+(0.12)
opseg od 255 do 260 -> f(52) = 0.00023161*ThetaT^3+(-0.0060245)*ThetaT^2+(-0.033668)*ThetaT+(0.03)

00000	od	260	do	265	~	£(52)	_	0 $00061176*TbotoTc2+(_0 0025501)*TbotoTc2+(_0 076512)*TbotoT+(_0 26)$
obseg	ou	200	uU	205	-/	(55)	-	(-2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2,
opseg	od	265	ao	270	->	t(54)	=	-0.00043864*Inetal^3+(0.006626)*Inetal^2+(-0.056164)*Inetal+(-0.63)
opseg	od	270	do	275	->	f(55)	=	0.00010279*ThetaT^3+(4.6429e-05)*ThetaT^2+(-0.022802)*ThetaT+(-0.8)
opseg	od	275	do	280	->	f(56)	=	-0.00013253*ThetaT^3+(0.0015883)*ThetaT^2+(-0.014628)*ThetaT+(-0.9)
opseg	od	280	do	285	->	f(57)	=	0.00010732*ThetaT^3+(-0.00039962)*ThetaT^2+(-0.0086849)*ThetaT+(-0.95)
opseg	od	285	do	290	->	f(58)	=	-5.6756e-05*ThetaT^3+(0.0012102)*ThetaT^2+(-0.0046321)*ThetaT+(-0.99)
opseg	od	290	do	295	->	f(59)	=	-0.0001203*ThetaT^3+(0.00035886)*ThetaT^2+(0.0032132)*ThetaT+(-0.99)
opseg	od	295	do	300	->	f(60)	=	0.00013795*ThetaT^3+(-0.0014456)*ThetaT^2+(-0.0022206)*ThetaT+(-0.98)
opseg	od	300	do	305	->	f(61)	=	-0.0001115*ThetaT^3+(0.00062362)*ThetaT^2+(-0.0063306)*ThetaT+(-1.01)
opseg	od	305	do	310	->	f(62)	=	6.804e-05*ThetaT^3+(-0.0010488)*ThetaT^2+(-0.0084568)*ThetaT+(-1.04)
opseg	od	310	do	315	->	f(63)	=	-6.6226e-07*ThetaT^3+(-2.8245e-05)*ThetaT^2+(-0.013842)*ThetaT+(-1.1)
opseg	od	315	do	320	->	f(64)	=	1.4609e-05*ThetaT^3+(-3.8179e-05)*ThetaT^2+(-0.014174)*ThetaT+(-1.17)
opseg	od	320	do	325	->	f(65)	=	2.2226e-05*ThetaT^3+(0.00018096)*ThetaT^2+(-0.01346)*ThetaT+(-1.24)
opseg	od	325	do	330	->	f(66)	=	-2.3512e-05*ThetaT^3+(0.00051434)*ThetaT^2+(-0.0099839)*ThetaT+(-1.3)
opseg	od	330	do	335	->	f(67)	=	-8.1794e-06*ThetaT^3+(0.00016167)*ThetaT^2+(-0.0066039)*ThetaT+(-1.34)
opseg	od	335	do	340	->	f(68)	=	5.6229e-05*ThetaT^3+(3.8978e-05)*ThetaT^2+(-0.0056006)*ThetaT+(-1.37)
opseg	od	340	do	345	->	f(69)	=	-5.6737e-05*ThetaT^3+(0.00088242)*ThetaT^2+(-0.00099365)*ThetaT+(-1.39)
opseg	od	345	do	350	->	f(70)	=	1.072e-05*ThetaT^3+(3.1356e-05)*ThetaT^2+(0.0035752)*ThetaT+(-1.38)
opseg	od	350	do	355	->	f(71)	=	1.3856e-05*ThetaT^3+(0.00019216)*ThetaT^2+(0.0046928)*ThetaT+(-1.36)
opseg	od	355	do	360	- >	f(72)	=	1.3856e-05*ThetaT^3+(0.0004)*ThetaT^2+(0.0076536)*ThetaT+(-1.33)

7. Nalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) postupkom regresije za krive *Wh* i *Wm* karakteristike u četiri kvadranta za jedan model radijalne pumpe i sedam modela radijalnih pumpnih - turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeći numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 6) - Polinomi 3, 3, 7 reda za krive *Wh* karakteristike i *Wm* karakteristike za jedan model pumpe i sedam modela pumpnih-turbina zajedno. Za razvijanje numeričkih modela u Matlab programu u ovoj doktorskoj disertaciji korišćen je postupak polinomske regresije – metoda najmanjih kvadrata (proces dobijanja razvijenog numeričkog modela u Matlab programu sastoji se od pet koraka), da bi se dobile *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* (formulacija *Univerzalne Jednačine* se koristi za označavanje jednačine koja obuhvata ukupnu površinu svih tačaka modelnih krivih različitih vrijednosti specifične brzine (*nq*) navedenih radijalnih mašina u ovoj doktorskoj disertaciji, odnosno jednačina primenljiva za sve vrijednosti *nq*).

Glavna ideja je bila da Univerzalne Jednačine budu u obliku,

$$W_{h,m} = f(nq,\theta) \tag{67}$$

gdje bi se eksplicitno pokazao uticaj nq. Ugao (θ) je definisan jednačinom $\theta = arctg v/\alpha$ gde je: $v=Q/Q_R$ - bezdimenzionalna promjenjiva protoka, $\alpha = N/N_R$ - bezdimenzionalna brzina rotacije, $\beta = M/M_R$ - bezdimenzionalni moment i $h=H/H_R$ - bezdimenzionalni pad. Suterove krive $Wh(\theta)=h/(\alpha^2+v^2)$ i $Wm(\theta)=\beta/(\alpha^2+v^2)$ su izražene kao funkcija ugla (θ), kao što je prikazano na Slici 149 [4]. Očigledni glavni uticaj (θ) bi bio implicitan i dat je u koeficijentima u funkciji f. Međutim, nakon mnogo numeričkih eksperimenata, pokazalo se da je bolje uklapanje tačaka na krivu kada su uticaji (nq) i (θ) dati obrnuto: (θ) - eksplicitno i (nq) - implicitno u koeficijentima. Dakle, konačna ciljana funkcija (*Univerzalna Jednačina*) koju treba rešiti je bila,

$$W_{h,m} = a_0 + \sum a_i(nq) \cdot \theta^i \tag{68}$$

Kako je bilo teško tačno uklopiti tačke sa željom što veće preciznosti, viši red polinoma je morao da se koristi nevoljno radi boljeg uklapanja, pa je ukupna funkcija f postala složenija od predviđene (Polinomi sa eksponentima 3, 3, 7).

7.1 Pronalaženje analitičke veze sa regresionim postupkom za Wh i Wm krive za sedam modela radijalnih pumpi-turbina i jedan model radijalne pumpe – (Varijanta 6 - Ovaj primjer je urađen sa Polinomima 3, 3, 7 reda)

Sledeći koraci su korišćeni za dobijanje Univerzalnih Jednačina za *Wh* i *Wm* u Matlab programu:

U prvom koraku, u dva odvojena dijagrama sa koordinatama $Wh - \theta$ i $Wm - \theta$ (ugao teta) kroz sedam Suterovih krivih Wh i Wm za sedam modela radijalnih pumpnih-turbina: nq = 24,8 - SAD; nq = 27 - Srbija; nq = 28,6 - SAD; nq = 41,6 - Austrija; nq = 43,83 - Rusija; nq = 50 - Kina; nq = 56 - Kina, (koje je autor ove doktorske disertacije izračunao na osnovu prikupljenih podataka četvorokvadrantnih krivih) i jednog modela radijalne pumpe nq = 25 [2], određena je srednja matematička kriva (polinom trećeg stepena).

U drugom koraku, u Matlab programu su izračunate vrijednosti ΔWh i ΔWm (udaljenosti svake od osam krivih *Wh* i *Wm* do srednje krive), a zatim vrijednosti dobijene za ΔWh i ΔWm su eksportovane iz Matlab programa u Eksel tabelu.

U trećem koraku, napravljeni su vertikalni preseci na osam nq krivih u opsegu $\theta = (0^0 - 270^0)$, sa korakom 5⁰ (ukupno 55 presjeka), i u svakom od ovih 55 preseka na svakoj od osam nq krivih očitavane su vrijednosti za ΔWh i ΔWm . Nakon toga, posebno u 55 dijagrama za svaki od navedenih presjeka sa koordinatama $\Delta Wh - nq$ i $\Delta Wm - nq$, dobijeni podaci su podvrgnuti određivanju srednje matematičke krive (polinoma trećeg stepena). Na Slikama 117 – 120 prikazan je samo dio od 55 dijagrama, dva dijagrama sa $\Delta Wh - nq$ i dva dijagrama sa $\Delta Wm - nq$, kroz koje su prošli polinomi trećeg reda.

U četvrtom koraku određuju se vrijednosti za četiri koeficijenta (*K*1, *K*2, *K*3, *K*4) koji postoje u polinomu trećeg stepena (ukupno 55 polinoma i 220 vrijednosti koeficijenata) i koriste se za određivanje srednje krive-polinom trećeg stepena (ukupno 55 polinoma). Ove vrijednosti se eksportuju iz razvijenog numeričkog modela u Matlab programu u Eksel tabele.

U petom koraku, a za Wm i Wh posebno na četiri odvojena dijagrama sa koordinatom koeficijentom θ - (ugao teta), vrijednosti za četiri koeficijenta se sortiraju (K1, K2, K3, K4 - ukupno 220 vrijednosti koeficijenata) od 55 polinom trećeg reda, a kroz sve ove tačke (za svaki od ova četiri koeficijenta posebno) provučene su nove matematičke krive (polinom sedmog stepena). Na Slikama 121 - 124 prikazani su dijagrami sa vrijednostima koeficijenata (K1, K4) – θ (ugao teta), za Wh i Wm.

Nakon svega gore navedenog, iz razvijenog numeričkog modela u Matlab programu dobijaju se Univerzalne Jednačine za *Wh* i *Wm*, koje se sastoje od zajedničkog zbira matematičkih jednačina (polinoma trećeg stepena) – srednje krive i matematičkih jednačina (polinoma trećeg reda) - *delta*, gde se delta sastoji od matematičkih jednačina (polinoma trećeg stepena) koji prolaze kroz tačke sa vrijednostima za $\Delta Wh - nq$ i $\Delta Wm - nq$ za svaki od sedam nqmodela radijalne pumpe-turbine i jednog modela radijalne pumpe, a polinomi sedmog stepena za svaki od četiri koeficijenta (*K*1, *K*2, *K*3, *K*4) koji postoje u gore navedenim polinomima trećeg stepena za $\Delta Wh - nq$ i $\Delta Wm - nq$.

Takođe u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu programiran je dio koji omogućava (u dobijenim *Univerzalnim Jednačinama za Wh i Wm karakteristike*) ubacivanje novih vrijednosti za nq i dobijanje novih krivih za *Wh* i *Wm* iz ovih jednačina i koje se zatim porede sa *Wh* i *Wm* krivima koje su dobijene preračunavanjem četvorokvadrantnih modelnih krivih za sedam modela radijalnih pumpi-turbina i jednog modela radijalne pumpe. Na uporednim dijagramima ovih krivih prikazane su vrijednosti za tačnost regresije r^2 za svaki novi nq. Na Slikama 125 i 126 prikazana su dva dijagrama (jedan za *Wh* i jedan za *Wm*) koji prikazuju modelnu krivu (krivu dobijenu na modelskim ispitivanjima) po tačkama i krivu (dobijenu iz *Univerzalne Jednačine*) srednje vrijednosti plus *delta* za jedan nq sa najvišim vrijednostima za tačnost r^2 . Takođe, na Slici 127 prikazani su zajedno dijagrami sa krivima *Wh* i *Wm* dobijenim na modelskim ispitivanjima i *Wh* i *Wm* krivima dobijenim iz *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za sedam modela nq radijalne pumpe-turbine i jedan model nq radijalne pumpe.



Slika 116. Prikazuje ugao - θ i Suterove krive Wh i Wm izražene u funkciji ugla – θ .



Slika 117. Vrijednosti za ΔWh na vertikalnim presecima krivih (sedam *nq* pumpa-turbina i jedna *nq* pumpa) pod uglom θ (Teta) =5°.



Slika 119. Vrijednosti za ΔWm na vertikalnim presecima krivih (sedam *nq* pumpa-turbina i jedna *nq* pumpa) pod uglom θ (Teta) =5°.



Slika 118. Vrijednosti za ΔWh na vertikalnim presecima krivih (sedam *nq* pumpa-turbina i jedna *nq* pumpa) pod uglom θ (Teta) =270°.



Slika 120. Vrijednosti za ΔWm na vertikalnim presecima krivih (sedam *nq* pumpa-turbina i jedna *nq* pumpa) pod uglom θ (Teta) =270°



Slika 121. Polinom sedmog stepena se propušta kroz 55 tačaka sa vrijednostima koeficijenta K1- θ (Teta), za Wh.



Slika 123. Polinom sedmog stepena se propušta kroz 55 tačaka sa vrijednostima koeficijenta K1- θ (Teta), za Wm.



Slika 125. Wh – Modelska kriva i srednja kriva plus delta za nq=24.8 sa $r^2=0.99$.



Slika 122. Polinom sedmog stepena se propušta kroz 55 tačaka sa vrijednostima koeficijenta K4- θ (Teta), za Wh.



Slika 124. Polinom sedmog stepena se propušta kroz 55 tačaka sa vrijednostima koeficijenta *K*4- θ (Teta), za *Wm*.



Slika 126. Wm – Modelska kriva i srednja kriva plus delta za nq=56 sa $r^2=0.98$.



Slika 127. Upoređenje krivih *Wh* i *Wm* dobijenih na modelskim ispitivanjima i iz *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za sedam *nq* modela radijalnih pumpnih-turbina i jedan *nq* model radijalne pumpe.

Na osnovu rezultata dobijenih iz razvijenih numeričkih modela za *Univerzalne* Jednačine za Wh i Wm karakteristike, može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri, i ohrabrujući da postoji univerzalna analitička zavisnost koja može da opiše sve Wh i Wm krive sa različitim nq, te da ove zavisnosti ne zavise od referentne krive i to je potvrdilo jasno postojanje zavisnosti od nq.

7.2 Univerzalne jednačine Wh i Wm (Polinomi 3, 3, 7) – Varijanta 6

Univerzalne Jednačine - Wh (91) i *Wm* (92), kao i vrijednosti koeficijenata dobijenih iz numeričkih modela razvijenih u Matlab programu su u potpunosti prikazani na sledeći način:

Univerzalne Jednačine - Wh ima izgled:

```
Wh = S1^{Theta} + S2^{Theta} + S3^{Theta} + S4 + Delta 
(69)
```

$$\begin{split} & Wh = S1^{*}Theta^{3} + S2^{*}Theta^{2} + S3^{*}Theta + S4 + [D11^{*}Theta^{7} + D12^{*}Theta^{6} + D13^{*}Theta^{5} + D14^{*}Theta^{4} + D15^{*}Theta^{3} + D16^{*}Theta^{2} + D17^{*}Theta + D18]^{*}nq^{3} + [D21^{*}Theta^{7} + D22^{*}Theta^{6} + D23^{*}Theta^{5} + D24^{*}Theta^{4} + D25^{*}Theta^{3} + D26^{*}Theta^{2} + D27^{*}Theta + D28]^{*}nq^{2} + [D31^{*}Theta^{7} + D32^{*}Theta^{6} + D33^{*}Theta^{5} + D34^{*}Theta^{4} + D35^{*}Theta^{3} + D36^{*}Theta^{2} + D37^{*}Theta + D38]^{*}nq + [D41^{*}Theta^{7} + D42^{*}Theta^{6} + D43^{*}Theta^{5} + D44^{*}Theta^{4} + D45^{*}Theta^{3} + D46^{*}Theta^{2} + D47^{*}Theta + D48] \end{split}$$

Koeficijenti uz teta za srednju krivu: S1= 0.03439; S2= -0.4854; S3= 1.681; S4= -0.5254.

Koeficijent uz teta za nq^3:

D11=-1.011105964928527e-06; D12=1.363502390576926e-05;

D13= -6.265399572245447e-05; D14= 9.376290433443766e-05;

D15= 8.228704736142970e-05; D16= -3.367886394897410e-04;

D17= 2.541572423593976e-04; D18= -5.579500435221324e-05.

Koeficijenti uz teta za nq^2:

D21=1.234621094204153e-04; D22=-1.679156279207369e-03;

D23=7.854627550157659e-03; D24=-1.254673718956816e-02;

D25=-7.314242717756788e-03; D26=3.792655081648275e-02;

D27=-2.934789296713252e-02; D28=6.418470191702393e-03.

Koeficijenti uz teta za nq:

D31= -4.847151220618230e-03; D32= 6.615509045646753e-02;

D33=-3.113356290997428e-01; D34= 5.076047891242924e-01;

D35= 2.456486447646135e-01; D36= -1.419666418017583e+00;

D37=1.095964979882342e+00; D38=-2.344992263329560e-01.

Koeficijenti uz teta (slobodan dio u jednačini – bez nq):

D41= 5.695860505133595e-02; D42= -7.616430236007363e-01;

D43= 3.403083506635225e+00; D44= -4.408679669381974e+00;

D45=-7.192069950118181e+00; D46=2.182833742436747e+01;

D47=-1.493842324756119e+01; D48=2.793951552816559e+00.

Univerzalne Jednačine - Wm ima izgled:

 $Wm = S1^{*}Theta^{3} + S2^{*}Theta^{2} + S3^{*}Theta + S4 + Delta$

$$\begin{split} Wm &= S1^{*}Theta^{3} + S2^{*}Theta^{2} + S3^{*}Theta + S4 + [D11^{*}Theta^{7} + D12^{*}Theta^{6} + D13^{*}Theta^{5} + D14^{*}Theta^{4} + D15^{*}Theta^{3} + D16^{*}Theta^{2} + D17^{*}Theta + D18]^{*}nq^{3} + [D21^{*}Theta^{7} + D22^{*}Theta^{6} + D23^{*}Theta^{5} + D24^{*}Theta^{4} + D25^{*}Theta^{3} + D26^{*}Theta^{2} + D27^{*}Theta + D28]^{*}nq^{2} + [D31^{*}Theta^{7} + D32^{*}Theta^{6} + D33^{*}Theta^{5} + D34^{*}Theta^{4} + D35^{*}Theta^{3} + D36^{*}Theta^{2} + D37^{*}Theta + D38]^{*}nq + [D41^{*}Theta^{7} + D42^{*}Theta^{6} + D43^{*}Theta^{5} + D44^{*}Theta^{4} + D45^{*}Theta^{3} + D46^{*}Theta^{2} + D47^{*}Theta + D48] \end{split}$$

Koeficijenti uz teta za srednju krivu: S1= 0.03849; S2= -0.5294; S3= 1.692; S4= -0.6158.

Koeficijent uz teta za nq^3:

D11=-5.091972710880069e-08; D12=-1.957355540069362e-06;

D13= 3.676288603313958e-05; D14= -2.260908584785088e-04;

D15= 6.384864869414088e-04; D16= -8.286104209122147e-04;

D17= 3.734383705735456e-04; D18= -2.611432411599402e-05.

Koeficijenti uz teta za nq^2:

D21=1.578339559917061e-05; D22=5.173578230403051e-05;

(71)

D23= -3.076565044673074e-03; D24= 2.248064671098574e-02; D25= -6.894637720160464e-02; D26= 9.453934853035186e-02; D27= -4.429494906758778e-02; D28 = 3.311490749639990e-03. Koeficijenti uz teta za ng:

D31=-1.154528602923698e-03; D32=7.813451215025517e-03;

D33= 5.043610133229166e-02; D34= -6.378629391879377e-01;

D35= 2.284440502342860e+00; D36= -3.389996194018964e+00;

D37=1.672121493835456e+00;D38=-1.385783736122681e-01.

Koeficijenti uz teta (slobodan dio u jednačini – bez nq):

D41= 8.415005200618253e-03; D42= 1.564118036533019e-03;

D43=-1.258123259337855e+00; D44=9.834228431155022e+00;

D45=-3.104375854338123e+01; D46=4.359159633165154e+01;

D47= 2.142980694381100e+01; D48= 2.076207470562215e+00.

U (Prilogu – P9) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela *Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 6 (Polinomi 3, 3, 7)* na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za jedan model pumpe i za sedam modela pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje, kao i preostali dijagrami koji nijesu prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji, zbog obimnosti disertacije.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za *Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 6 (Polinomi 3, 3, 7)* sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristike i za Wm karakteristike*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za *Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 6* (*Polinomi 3, 3, 7*) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slici 127. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8. Nalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) postupkom regresije za krive *Wh* i *Wm* karakteristike u četiri kvadranta za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje

8.1 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 7 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wm karakteristiku)

8.1.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 7) - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest model radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 - Opening – (26.8°) – Kina; nq = 20.73 (otvor – 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89(otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor – 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) **[54]**, a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5];

nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:

U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 3 reda, što je jasno prikazano na Slikama 128 - 146 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 3 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 174 - 192 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 147 - 154 za *Wh* karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Gausova funkcija 5 reda (Gausov model od 5 pikova) se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Gausovih funkcija 5 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 193 - 198 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Gausova funkcija 5 reda (Gausov model od 5 pikova) se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Gausovih funkcija 5 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine -nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Gausove funkcije 5 reda (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Gausove funkcije 5 reda (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq. Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq.*

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za Wh i Wm karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom - nq i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima Wh i Wm karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - ng (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz razvijenih Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 155 - 173 (za Wh karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 199 - 217 (za Wm karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56)). Na Slici 218 su prikazane Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a Slika 219 prikazuje Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine

- nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike dobijene iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 128. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98332)), za Wh karakteristiku.



Slika 129. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.98943)), za Wh karakteristiku.



Slika 130. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.98638)), za Wh karakteristiku.



Slika 131. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.98784)), za Wh karakteristiku.



Slika 132. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.98097)), za Wh karakteristiku.



Slika 133. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99083)), za Wh karakteristiku.



Slika 134. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.99272)), za Wh karakteristiku.



Slika 135. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.97899)), za Wh karakteristiku.



Slika 136. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.98037)), za Wh karakteristiku.



Slika 137. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.98791)), za Wh karakteristiku.



Slika 138. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95606)), za Wh karakteristiku.



Slika 139. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.98424)), za Wh karakteristiku.



Slika 140. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.98234)), za Wh karakteristiku.



Slika 141. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.98782)), za Wh karakteristiku.



Slika 142. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.98267)), za Wh karakteristiku.



Slika 143. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.98573)), za Wh karakteristiku.



Slika 144. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.98563)), za Wh karakteristiku.


Slika 145. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97811)), za Wh karakteristiku.



Slika 146. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.98866)), za Wh karakteristiku.



Slika 147. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 148. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 149. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 150. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 151. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 152. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 153. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 154. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 155. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=15.7.



Slika 156. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 17.53.



Slika 157. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 158. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 22.1.



Slika 159. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=24.8.



Slika 160. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=25.5.



Slika 161. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 26.24.



Slika 162. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=27.



Slika 163. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.6.



Slika 164. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 28.8.



Slika 165. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 166. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 167. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 35.89.



Slika 168. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 37.4.



Slika 169. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=38.



Slika 170. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 41.6.



Slika 171. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 172. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=50.



Slika 173. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=56.



Slika 174. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 175. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 176. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 177. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 178. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 179. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 180. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 181. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 182. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 183. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.



Slika 184. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 185. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 186. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 187. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 188. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 189. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 190. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97138)), za Wm karakteristiku.



Slika 191. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.



Slika 192. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 193. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 194. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 195. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 196. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 197. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 198. Regresijom (Gausov model od 5 pikova) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 199. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=15.7.



Slika 200. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 201. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 202. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=22.1.



Slika 203. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=24.8.



Slika 204. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=25.5.



Slika 205. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 206. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=27.



Slika 207. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.6.



Slika 208. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.8.



Slika 209. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.3.



Slika 210. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 211. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 212. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 213. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=38.



Slika 214. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 215. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 216. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=50.


Slika 217. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=56.



Slika 218. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 219. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.1.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova – Varijanta 7

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h} = f(nq, \theta) \tag{73}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 3 reda):

 $W_h = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_3 \cdot \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_3 \cdot \sin(3 \cdot \theta \cdot w)$ (74)

Koeficijenti u Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku su izraženi koristeći Gausovu metodu sa 5 pikova:

$$\begin{split} a_{0} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ a_{3} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ b_{3} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ w &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ \end{array}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 3, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

r					
	C_1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> ₃	<i>C</i> 4	<i>C</i> ₅
a_0	0.715728537772443	29.9049596525243	1.16012961935287	0.521109645115539	24.9843448699395
a_1	-0.961504219174742	20.8213017199477	6.60246129318733	64.4451894755146	33.9552520988873
b_1	1.75241990150892	19.8135420552229	1.33886922742098	417.850083807207	29.4231711647591
a_2	-0.212835379189482	17.9472450293514	3.23551008707598	0.769182641369441	20.2792677779139
b_2	173.394821464904	19.8062346024810	0.398196612056804	0.263540529302953	36.9447596111319
<i>a</i> ₃	-0.181800489905881	19.3268048709342	4.95810756511899	0	26.0298735944539
<i>b</i> ₃	0.171794031368384	54.9650263605488	4.39322342521191	0.122789407622303	42.7363323178458
W	0.678343415488475	28.4873953019337	10.6324296856030	1.05944752491393	51.2427685643727
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	C_9	C ₁₀
a_0	2.92446402953835	0.669696566694336	48.1721533652468	16.8777591579916	1.08933596660774
a_1	9.38623658608427	-65.1159840241743	33.9497921755137	9.30333655479971	-0.553424193709785
b_1	0.234077165027373	14.0705875541679	192.753002138645	84.1423097393321	-2.25224419870849
a_2	0.768614839920823	-49.1251004578476	39.1971830208007	9.17110725919555	65.7282340827465
b_2	1.15602359727153	-0.435745571094921	20.1808950375309	1.92142437291941	-26.3010434438557
<i>a</i> ₃	0.00268604503805481	-0.191613303751049	33.9944431605795	8.49861554549484	-0.240023146711847
b_3	5.33165675599754	0.125185952049040	21.1675940395231	3.16870763838569	11.3504667885426
W	20.1435176407304	1.44381485667739	16.5278272368822	0.990905158856091	0.0817481489752628
	<i>C</i> ₁₁	<i>C</i> ₁₂	<i>C</i> ₁₃	<i>C</i> ₁₄	<i>C</i> ₁₅
a_0	16.5304105937096	1.12770938404211	0	123.069959488922	5.29722318147145
a_1	43.5376354654992	2.66276770811159	-0.832702828496582	52.4354579667604	11.8605813174252
b_1	52.9799760789432	2.41427952412874	-0.139404247102949	35.4078293956792	4.63367435777879
a_2	39.1794427549222	9.60563227454406	-17.0455725805295	39.1217486273385	11.1015484793539
b_2	50.5251169279373	12.3330207713370	26.2819745855239	50.4844140645721	12.2060700638172

Tabela 3: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.

a_3	52.5405734830949	3.53241697810810	-0.00763713376871382	41.6867171048131	0.722021466660832
b_3	27.8006222538846	0.367471350381684	0.0849230200042734	35.1785460820313	2.66032341592536
W	39.7391064284743	2.23592955879013	0.415871958298883	21.4730887660296	4.51729599172803

8.1.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova – Varijanta 7

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu:

Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{75}$$

Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijerova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(76)

Koeficijenti u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku su izraženi koristeći Gausovu metodu sa 5 pikova:

$$\begin{split} a_{0} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ w &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} + c_{13} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{14}}{c_{15}}\right)^{2}} \\ \end{array}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 4, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

Tabela 4: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

	C_1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> ₃	<i>C</i> 4	C5
a_0	0.2550536698126430	25.6186085901353	0.963267711627744	0.337927288514508	29.63766341508450
a_1	-16620771727066.70	-4276.11273885084	805.599265318033	-1109258261.09874	33.42392231098070
b_1	324.120698940612000	29.5305502765131	0.289320739965899	0.851923564873571	72.18546715666180
a_2	0.7969616045235030	30.5481737462861	0.323116981487847	0.216205675422239	37.81203614919080

b_2	15609923231.14510	33.4088970423167	0.493221992181572	0.339811595529765	17.15636373430760
W	0.0919924360474903	28.1156484740068	6.426286057995100	0.292910452594169	9.91350834540457
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> ₉	C10
a_0	0.981293292472372	28966.07550917390	65.2509909609433	2.950351977592590	0.185993555581020
a_1	0.516355342831691	-1.4553184642107200	29.6434273874913	0.628339785251443	1.315730559665290
b_1	24.553017487914800	0.2390879654207820	42.9992939636545	1.374890393223450	50.986805481357900
a_2	2.998374370756010	0.8786364970989780	26.5875750425643	0.285662853532393	0.269509239517786
b_2	9.158788121298710	0.2970961874516290	39.1121374566248	3.812809161841930	0.180831886464536
W	14.563949274160200	0.0709808075667553	42.4620025926456	8.149659108637010	0.938585093478700
	<i>C</i> ₁₁	<i>C</i> ₁₂	<i>C</i> ₁₃	<i>C</i> ₁₄	<i>C</i> ₁₅
a_0	47.9268600950130	10.890201395691800	-2.407235575701770	54.414699243642600	2.260359124540420
a_1	68.9333960383609	25.364244941314900	7.696586293536820	0.579956382013546	55.033329515146300
b_1	36.6261473513520	0.300523766914872	752.53901374966	-1196.8933159162100	458.209590154823
a_2	49.8968970919004	8.755147692392940	0.241373123080481	17.129969973253200	8.327848676217870
b_2	27.4815736160715	3.148470805194080	0.296441327664035	48.754614226385200	6.731023198418530
W	59.5435118000423	85.938091287072700	0.258296343141102	34.546279669743200	0.881787048543951

U (Prilogu – P10) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 7 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wh* karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 7 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wh* karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wm* karakteristiku) sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 7 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wh karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 218 i 219. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8.2 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 8 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wm karakteristiku)

8.2.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 8) - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest modela radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 - Opening – (26.8°) – Kina; nq = 20.73 (otvor – 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) **[54]**, a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:

U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 3 reda, što je jasno prikazano na Slikama 220 - 238 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 3 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 266 - 284 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 239 - 246 za *Wh* karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Gausova funkcija 3 reda (Gausov model od 3 pika) se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Gausovih funkcija 3 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 285 - 290 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Gausova funkcija 4 reda (Gausov model od 4 pika) se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Gausovih funkcija 4 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Gausove funkcije 3 reda (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Gausove funkcije 4 reda (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq. Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq.*

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za Wh i Wm karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom - ng i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima Wh i Wm karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz razvijenih Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 247 - 265 (za Wh karakteristiku za devetnest Suterovih krivih -nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 25.526.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 291 - 309 (za Wm karakteristiku za devetnest Suterovih krivih -nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56)). Na Slici 310 su prikazane Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a Slika 311 prikazuje Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike dobijene iz *Univerzalnih Jednačina za Wh* i *Wm* karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 220. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98332)), za Wh karakteristiku.



Slika 221. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.98943)), za Wh karakteristiku.



Slika 222. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.98638)), za Wh karakteristiku.



Slika 223. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.98784)), za Wh karakteristiku.



Slika 224. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.98097)), za Wh karakteristiku.



Slika 225. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99083)), za Wh karakteristiku.



Slika 226. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.99272)), za Wh karakteristiku.



Slika 227. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.97899)), za Wh karakteristiku.



Slika 228. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.98037)), za Wh karakteristiku.



Slika 229. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.98791)), za Wh karakteristiku.



Slika 230. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95606)), za Wh karakteristiku.



Slika 231. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.98424)), za Wh karakteristiku.



Slika 232. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.98234)), za Wh karakteristiku.



Slika 233. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.98782)), za Wh karakteristiku.



Slika 234. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.98267)), za Wh karakteristiku.



Slika 235. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.98573)), za Wh karakteristiku.



Slika 236. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.98563)), za Wh karakteristiku.



Slika 237. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97811)), za Wh karakteristiku.



Slika 238. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.98866)), za Wh karakteristiku.



Slika 239. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 240. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 241. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 242. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 243. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 244. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 245. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 246. Regresijom (Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wh karakteristiku.



Slika 247. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 15.7.



Slika 248. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=17.53.



Slika 249. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 20.73.



Slika 250. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=22.1.



Slika 251. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=24.8.



Slika 252. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=25.5.



Slika 253. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 26.24.



Slika 254. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=27.



Slika 255. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.6.



Slika 256. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.8.



Slika 257. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 258. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 259. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 35.89.



Slika 260. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=37.4.



Slika 261. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=38.



Slika 262. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 41.6.



Slika 263. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 264. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=50.



Slika 265. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 56.



Slika 266. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 267. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 268. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 269. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 270. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 271. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 272. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 273. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 274. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 275. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.


Slika 276. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 277. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 278. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 279. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 280. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 281. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 282. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97183)), za Wm karakteristiku.



Slika 283. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.



Slika 284. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 285. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 286. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 287. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 288. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 289. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 290. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 291. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=15.7.



Slika 292. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 293. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 294. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=22.1.



Slika 295. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 24.8.



Slika 296. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=25.5.



Slika 297. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 298. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=27.



Slika 299. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.6.



Slika 300. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.8.



Slika 301. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.3.



Slika 302. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 303. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 304. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=37.4.



Slika 305. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=38.



Slika 306. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 307. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 308. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=50.



Slika 309. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=56.



Slika 310. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 311. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.2.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika – Varijanta 8

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h} = f(nq, \theta) \tag{77}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 3 reda):

 $W_h = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_3 \cdot \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_3 \cdot \sin(3 \cdot \theta \cdot w)$ (78)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku* su izraženi koristeći Gausovu metodu sa 3 pika:

$$\begin{aligned} a_{0} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ a_{3} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ b_{3} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ w &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \end{aligned}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 5, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	c_1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	C5
a_0	0.547307872624346	29.8839532563986	0.793246192203723	2.309685047217230	332.7703121851250
a_1	-0.640843699205076	20.9637652502637	0.804458763664244	0.178200238232620	21.3675216323105
b_1	1.696914405871140	19.9667095602136	1.078693182634310	2563039855.449910	29.4645537432429
a_2	-0.340698312375039	25.8630362606411	12.577242648008500	-89.040274353193300	47.1888824574428

Tabela 5: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.

b_2	10.5212705783009	19.7443505022493	0.555280900913813	0.207955165908923	36.9386083983734
<i>a</i> ₃	-0.181478865700741	19.3076730512134	4.891681598994380	-0.190652562739006	34.0378712221283
b_3	15253182234484.2	84.3913147403198	4.992659747586930	0.114843207641356	42.5555276529245
W	0.957616501610985	25.1725505727929	23.954052282718500	0.840879738870500	57.5954963477624
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> 9	
a_0	239.007138115351	0.102040658730334	43.9750016600212	1.73890423394828	
a_1	10.513306899753500	-10.439195981271300	1627.61262058135	958.911327386202	
b_1	0.139184491455413	1.055669091064470	174.558135048266	134.204326548231	
a_2	7.037219629716410	88.861378955054300	47.1851558391851	7.0037284373794	
b_2	0.865490915538270	-0.102485396609892	97.7537061085187	109.176933764359	
<i>a</i> ₃	8.685029036984850	-0.489680873225789	52.7736206038725	2.493916983317	
b_3	10.898582871234300	0.119438110316359	21.1098882550937	3.364929063690	
W	19.356757711087200	0.429351737084564	16.5531614483509	0.912340659718	

8.2.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika – Varijanta 8

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu:

Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{79}$$

Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijerova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(80)

Koeficijenti u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku su izraženi koristeći Gausovu metodu sa 4 pika:

$$\begin{split} a_{0} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{s}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} \\ w &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{8}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}} \end{split}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 6, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	C5
a_0	0.2565340720957820	25.6190131658440	0.96484041817702	0.337554045255185	29.64017983253620
a_1	-0.3100589044418280	25.4140487351679	1.16073952528412	-0.586466836958781	31.24387084830800
b_1	0.5840877456326120	30.3360080363224	5.36367655198547	108489741386884.00	949.80157258851400
a_2	0.4789170184810000	30.4766951062495	0.41602004860087	0.210129349908645	37.92996540846660
b_2	0.1814128688279530	40.0671301335334	7.67279200097386	0.363099490980210	7.49261833332073
<i>a</i> ₃	0.0938567377090819	28.2172498839754	8.47530755567248	13990856363678.50	-2854.41429239682000
b_3	0.2565340720957820	25.6190131658440	0.96484041817702	0.337554045255185	29.64017983253620
W	-0.3100589044418280	25.4140487351679	1.16073952528412	-0.586466836958781	31.24387084830800
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> ₉	C_{10}
a_0	0.993738454543427	6780.105336248370	62.82816172127180	2.08283834103938	0.1616247773253950
a_1	4.686691909238580	-0.689118271729782	15.29679545017730	7.02390267918711	-0.8437096316550170
b_1	157.090639472185000	0.464910905673951	42.33396678859710	8.81291764030294	0.6778739307366020
a_2	2.963816417541680	0.234552442063483	16.72048667075920	11.78352371078880	0.2705319174861940
b_2	30.091218205065800	0.068035782523532	51.70049384794580	4.24714421064911	0.1451378767477920
<i>a</i> ₃	520.586129016091000	0.595661587390582	64.00343615978220	34.61157020854780	0.0658942084280693
b_3	0.993738454543427	6780.105336248370	62.82816172127180	2.08283834103938	0.1616247773253950
w	4.686691909238580	-0.689118271729782	15.29679545017730	7.02390267918711	-0.8437096316550170
	<i>C</i> ₁₁	<i>C</i> ₁₂			
a_0	45.5723867370634	9.27704032333352			
a_1	49.5825278216519	19.33923546847640			
b_1	16.5739817924808	8.85392533399651			
a_2	49.9406202391671	8.62217289280991			
b_2	50.2963385279459	4.53382541975554			
a3	42.9262124546354	7.64207254916681			
<i>b</i> ₃	45.5723867370634	9.27704032333352			
W	49.5825278216519	19.33923546847640			

Tabela 6: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

U (Prilogu – P11) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 8 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wh* karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 8 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wh* karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wm* karakteristiku) sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 8 (Furijerova funkcija 3 reda i Gausova funkcija 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh karakteristiku; Furijerova funkcija 2 reda i Gausova funkcija 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 310 i 3111. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8.3 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 9 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za Wm karakteristiku)

8.3.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 9) - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest model radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor - 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor - 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) **[54]**, a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i

turbinskom režimu radne krive (Q_{11} , n_{11} , M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:

U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 3 reda, što je jasno prikazano na Slikama 312 - 330 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 3 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 358 - 376 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za Whkarakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za Wh karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 331 - 338 za Wh karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Gausova funkcija 4 reda (Gausov model od 4 pika) se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Gausovih funkcija 4 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 377 - 382 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 7 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinoma 7 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Gausove funkcije 4 reda (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 7 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - nq. *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq.

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za Wh i Wm karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom – nq i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima Wh i Wm karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz razvijenih Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 339 - 357 (za Wh karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 25.26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 383 - 401 (za Wm karakteristiku za devetnest Suterovih krivih -nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq =25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56)). Na Slici 402 su prikazane Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a Slika 403 prikazuje Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike dobijene iz *Univerzalnih Jednačina za Wh* i *Wm* karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 312. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98332)), za Wh karakteristiku.



Slika 313. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.98943)), za Wh karakteristiku.



Slika 314. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.98638)), za Wh karakteristiku.



Slika 315. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.98784)), za Wh karakteristiku.



Slika 316. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.98097)), za Wh karakteristiku.



Slika 317. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99083)), za Wh karakteristiku.



Slika 318. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.99272)), za Wh karakteristiku.



Slika 319. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.97899)), za Wh karakteristiku.



Slika 320. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.98037)), za Wh karakteristiku.



Slika 321. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.98791)), za Wh karakteristiku.



Slika 322. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95606)), za Wh karakteristiku.



Slika 323. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.98424)), za Wh karakteristiku.



Slika 324. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.98234)), za Wh karakteristiku.



Slika 325. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.98782)), za Wh karakteristiku.



Slika 326. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.98267)), za Wh karakteristiku.



Slika 327. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.98573)), za Wh karakteristiku.



Slika 328. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.98563)), za Wh karakteristiku.



Slika 329. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97811)), za Wh karakteristiku.



Slika 330. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.98866)), za Wh karakteristiku.



Slika 331. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 332. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 333. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 334. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.


Slika 335. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 336. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 337. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 338. Regresijom (Gausov model od 4 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 339. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=15.7.



Slika 340. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 341. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 342. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=22.1.



Slika 343. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=24.8.



Slika 344. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 25.5.



Slika 345. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 26.24.



Slika 346. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=27.



Slika 347. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.6.



Slika 348. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.8.



Slika 349. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 350. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 351. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 35.89.



Slika 352. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 37.4.



Slika 353. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 38.



Slika 354. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq = 41.6.



Slika 355. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq = 43.83.



Slika 356. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq = 50.



Slika 357. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq = 56.



Slika 358. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 359. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 360. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 361. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 362. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 363. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 364. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 365. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 366. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 367. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.



Slika 368. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 369. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 370. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 371. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 372. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 373. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 374. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97183)), za Wm karakteristiku.



Slika 375. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.



Slika 376. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 377. Regresijom (Polinomom 7 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 378. Regresijom (Polinomom 7 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 379. Regresijom (Polinomom 7 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 380. Regresijom (Polinomom 7 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 381. Regresijom (Polinomom 7 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 382. Regresijom (Polinomom 7 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 383. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 15.7.



Slika 384. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 17.53.



Slika 385. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 20.73.



Slika 386. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 22.1.



Slika 387. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 24.8.



Slika 388. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 25.5.



Slika 389. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 26.24.



Slika 390. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 27.



Slika 391. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 28.6.



Slika 392. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 28.8.



Slika 393. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 30.3.



Slika 394. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 30.95.



Slika 395. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 35.89.



Slika 396. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 37.4.



Slika 397. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku* za nq = 38.



Slika 398. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 41.6.



Slika 399. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 43.83.



Slika 400. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 50.



Slika 401. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 56.



Slika 402. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 403. Poređenje Suterovih krivih za *Wm* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih *Q*₁₁, *n*₁₁, *M*₁₁ sa Suterovim krivama za *Wm* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.3.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika – Varijanta 9

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h,} = f(nq, \theta) \tag{81}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 3 reda):

 $W_h = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_3 \cdot \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_3 \cdot \sin(3 \cdot \theta \cdot w)$ (82)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku* su izraženi koristeći Gausovu metodu sa 4 pika:

$$a_{0} = c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}}$$
$$a_{1} = c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{3}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{11}}{c_{12}}\right)^{2}}$$

323

$$\begin{split} b_1 &= c_1 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_2}{c_s}\right)^2} + c_4 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_5}{c_6}\right)^2} + c_7 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_8}{c_9}\right)^2} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_{11}}{c_{12}}\right)^2} \\ a_2 &= c_1 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_2}{c_s}\right)^2} + c_4 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_5}{c_6}\right)^2} + c_7 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_8}{c_9}\right)^2} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_{11}}{c_{12}}\right)^2} \\ b_2 &= c_1 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_2}{c_s}\right)^2} + c_4 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_5}{c_6}\right)^2} + c_7 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_8}{c_9}\right)^2} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_{11}}{c_{12}}\right)^2} \\ a_3 &= c_1 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_2}{c_s}\right)^2} + c_4 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_5}{c_6}\right)^2} + c_7 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_8}{c_9}\right)^2} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_{11}}{c_{12}}\right)^2} \\ b_3 &= c_1 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_2}{c_s}\right)^2} + c_4 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_5}{c_6}\right)^2} + c_7 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_8}{c_9}\right)^2} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_{11}}{c_{12}}\right)^2} \\ w &= c_1 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_2}{c_s}\right)^2} + c_4 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_5}{c_6}\right)^2} + c_7 \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_8}{c_9}\right)^2} + c_{10} \cdot e^{\left(\frac{n_q - c_{11}}{c_{12}}\right)^2} \end{split}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 7, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>C</i> ₁	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	<i>C</i> 5
a_0	0.541944061628251	29.9112840097684	0.609750024000405	367254.1154988030	1015.46632507675000
a_1	3558.27595727144	39.7803874584052	0.563866270550681	-0.655122677605182	20.95809611855700
b_1	1.753257619552930	19.7830735192274	1.646973739848750	0.355840125132201	27.87904920014190
a_2	0.618074311043399	20.9226089916430	0.746923433999019	-0.458971083290531	22.67025888312530
b_2	17.203169456107400	19.9690362476728	0.396904337894192	0.215222047721478	36.91309306257100
<i>a</i> ₃	-0.470905359789293	19.4695226030676	1.502145727627460	-10772207070505.6	-8.57928427228217
b_3	1.861727066250480	82.6985044398997	17.083425428977600	0.118891597708152	40.96725307422590
W	0.947005281756741	24.7563868076686	24.717484926063400	0.859059033541582	59.50554823472470
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
a_0	268.780244089738000	-3.248115803823190	47.7527080555991	7.827871488938230	3.067613744326430
a_1	0.861535581007935	0.252438714671051	21.9706860056295	9.098398307081290	-219.14259101550200
b_1	4.399464526021200	0.394297739432654	42.6492408057384	6.113929831752710	57896858542275.2
a_2	9.181967353715210	-0.345830048302581	38.8447829814503	5.582997567637060	-0.346484063699974
b_2	0.867897634939713	10.307109676216700	68.7429160784018	24.928074260382400	-11.451540447036400
<i>a</i> ₃	4.288602187187170	-0.179943541469161	33.3340542180074	10.491749904664400	-0.436896743949830
b_3	6.788150256519830	0.125236941932015	21.1702636510723	3.150101855672350	70.626163963485500
W	21.118815767490900	0.373618340978890	16.5470804169307	0.943324093728692	0.138683979457977
	<i>C</i> ₁₁	<i>C</i> ₁₂			
a_0	47.2745171219860	6.891644922616810			
a_1	5061.2938487694700	2096.985480589480000			
b_1	824.9561617359720	135.150482547991000			
a_2	54.5007057843973	12.019061272874800			
b_2	71.7431334141354	26.729143588279700			
<i>a</i> ₃	52.7842153808616	2.562788678310650			
b_3	27.7996969197635	0.311483670611709			
W	39.7531160229800	1.300939985544000			

Tabela 7: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.
8.3.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 7 reda – Varijanta 9

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{83}$$

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(84)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wm karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 7 reda:

$$\begin{aligned} &a_0 = c_1 \cdot n_q^{-7} + c_2 \cdot n_q^{-6} + c_3 \cdot n_q^{-5} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-1} + c_8 \\ &a_1 = c_1 \cdot n_q^{-7} + c_2 \cdot n_q^{-6} + c_3 \cdot n_q^{-5} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-1} + c_8 \\ &b_1 = c_1 \cdot n_q^{-7} + c_2 \cdot n_q^{-6} + c_3 \cdot n_q^{-5} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-1} + c_8 \\ &a_2 = c_1 \cdot n_q^{-7} + c_2 \cdot n_q^{-6} + c_3 \cdot n_q^{-5} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-1} + c_8 \\ &b_2 = c_1 \cdot n_q^{-7} + c_2 \cdot n_q^{-6} + c_3 \cdot n_q^{-5} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-1} + c_8 \\ &w = c_1 \cdot n_q^{-7} + c_2 \cdot n_q^{-6} + c_3 \cdot n_q^{-5} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-1} + c_8 \end{aligned}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 8, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

Tabela 8: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

	C1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4
a_0	0.00000001588890538391660	-0.000000372311761942439	0.0000361422316558991	-0.001879364783403500
a_1	-0.0000000568437814924063	0.0000013892024063298300	-0.0001412588614686960	0.007725561947790710
b_1	0.00000005171184954836380	-0.000001258489428805590	0.0001275738899707780	-0.006966559417897400
a_2	-0.0000000061738602443086	0.0000001288300696868020	-0.0000108068313108032	0.000465041564602690
b_2	-0.0000000115023215086396	0.0000002724498733260970	-0.0000268503891151348	0.001424304326770460
W	-0.0000000568437814924063	0.0000013892024063298300	-0.0001412588614686960	0.007725561947790710
	C_5	C_6	<i>C</i> ₇	C_8
a_0	C ₅ 0.05641884501931590	C ₆ -0.9769263981065590	C ₇ 9.047712009035270	C ₈ -34.666264303019000
a_0 a_1	C ₅ 0.05641884501931590 -0.24470767032302400	C ₆ -0.9769263981065590 4.4760105970231800	C ₇ 9.047712009035270 -43.672315511169600	C ₈ -34.666264303019000 174.519303665407000
a_0 a_1 b_1	C5 0.05641884501931590 -0.24470767032302400 0.22080363358228700	Сб -0.9769263981065590 4.4760105970231800 -4.0525365367820300	C ₇ 9.047712009035270 -43.672315511169600 39.807951121075600	C8 -34.666264303019000 174.519303665407000 -160.624767567671000
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C5 0.05641884501931590 -0.24470767032302400 0.22080363358228700 -0.01081710278781060	C6 -0.9769263981065590 4.4760105970231800 -4.0525365367820300 0.1300433475802940	C7 9.047712009035270 -43.672315511169600 39.807951121075600 -0.671498532271456	C ₈ -34.666264303019000 174.519303665407000 -160.624767567671000 0.864664277333494
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C5 0.05641884501931590 -0.24470767032302400 0.22080363358228700 -0.01081710278781060 -0.04385349511440470	C6 -0.9769263981065590 4.4760105970231800 -4.0525365367820300 0.1300433475802940 0.7833281383274020	C7 9.047712009035270 -43.672315511169600 39.807951121075600 -0.671498532271456 -7.526171798354300	C ₈ -34.666264303019000 174.519303665407000 -160.624767567671000 0.864664277333494 30.394030483031300

U (Prilogu – P12) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 9 (Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 9 (Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za *Wm* karakteristiku) sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 9 (Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 402 i 403. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8.4 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 10 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku)

8.4.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 10) - Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest model radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor - 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor - 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89

(otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor – 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) [54], a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:

U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 3 reda, što je jasno prikazano na Slikama 404 - 422 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 3 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 450 - 468 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 423 - 430 za *Wh* karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 8 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 3 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinom 8 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 469 - 474 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 8 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinoma 8 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 8 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 8 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 3 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - nq. *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq.

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom – *nq* i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima *Wh* i *Wm* karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - *nq* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za *Wh* i *Wm* karakteristike koje su dobijene iz razvijenih *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 431 - 449 (za *Wh* karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 475 - 493 (za Wm karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 27.7; nq = 17.53; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 50). Na Slici 494 su prikazane Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku (13 modela radijalnih pumpi), a Slika 495 prikazuje Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene iz Univerzalne ZMM karakteristiku (13 modela radijalnih pumpih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike dobijene iz *Univerzalnih Jednačina za Wh* i *Wm* karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 404. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98332)), za Wh karakteristiku.



Slika 405. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.98943)), za Wh karakteristiku.



Slika 406. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.98638)), za Wh karakteristiku.



Slika 407. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.98784)), za Wh karakteristiku.



Slika 408. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.98097)), za Wh karakteristiku.



Slika 409. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99083)), za Wh karakteristiku.



Slika 410. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.99272)), za Wh karakteristiku.



Slika 411. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.97899)), za Wh karakteristiku.



Slika 412. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.98037)), za Wh karakteristiku.



Slika 413. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.98791)), za Wh karakteristiku.



Slika 414. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95606)), za Wh karakteristiku.



Slika 415. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.98424)), za Wh karakteristiku.



Slika 416. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.98234)), za Wh karakteristiku.



Slika 417. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.98782)), za Wh karakteristiku.



Slika 418. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.98267)), za Wh karakteristiku.



Slika 419. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.98573)), za Wh karakteristiku.



Slika 420. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.98563)), za Wh karakteristiku.



Slika 421. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97811)), za Wh karakteristiku.



Slika 422. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 3 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.98866)), za Wh karakteristiku.



Slika 423. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 424. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 425. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 426. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

340



Slika 427. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 428. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 429. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 430. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 3 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wh karakteristiku.



Slika 431. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=15.7.



Slika 432. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 433. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 434. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=22.1.



Slika 435. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=24.8.



Slika 436. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 25.5.



Slika 437. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 26.24.



Slika 438. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=27.



Slika 439. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 28.6.



Slika 440. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=28.8.



Slika 441. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 442. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 443. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 444. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 445. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=38.



Slika 446. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 41.6.



Slika 447. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 448. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=50.



Slika 449. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=56.



Slika 450. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 451. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 452. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 453. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 454. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 455. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 456. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 457. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 458. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 459. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.



Slika 460. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 461. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 462. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 463. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 464. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 465. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 466. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97183)), za Wm karakteristiku.


Slika 467. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.



Slika 468. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 469. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 470. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 471. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 472. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 473. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 474. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 475. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=15.7.



Slika 476. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 477. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 478. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=22.1.



Slika 479. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=24.8.



Slika 480. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=25.5.



Slika 481. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 482. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=27.



Slika 483. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.6.



Slika 484. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.8.



Slika 485. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.3.



Slika 486. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 487. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 488. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 489. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=38.



Slika 490. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 491. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 492. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=50.



Slika 493. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=56.



Slika 494. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 495. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.4.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda – Varijanta 10

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h,} = f(nq, \theta) \tag{85}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 3 reda):

 $W_h = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_3 \cdot \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_3 \cdot \sin(3 \cdot \theta \cdot w)$ (86)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 8 reda:

$$a_{0} = c_{1} \cdot n_{q}^{8} + c_{2} \cdot n_{q}^{7} + c_{3} \cdot n_{q}^{6} + c_{4} \cdot n_{q}^{4} + c_{5} \cdot n_{q}^{3} + c_{6} \cdot n_{q}^{2} + c_{7} \cdot n_{q}^{2} + c_{8} \cdot n_{q}^{1} + c_{9}$$

$$a_{1} = c_{1} \cdot n_{q}^{8} + c_{2} \cdot n_{q}^{7} + c_{3} \cdot n_{q}^{6} + c_{4} \cdot n_{q}^{4} + c_{5} \cdot n_{q}^{3} + c_{6} \cdot n_{q}^{2} + c_{7} \cdot n_{q}^{2} + c_{8} \cdot n_{q}^{1} + c_{9}$$

$$\begin{split} b_1 &= c_1 \cdot n_q \, {}^8 + c_2 \cdot n_q \, {}^7 + c_3 \cdot n_q \, {}^6 + c_4 \cdot n_q \, {}^4 + c_5 \cdot n_q \, {}^3 + c_6 \cdot n_q \, {}^2 + c_7 \cdot n_q \, {}^2 + c_8 \cdot n_q \, {}^1 + c_9 \\ a_2 &= c_1 \cdot n_q \, {}^8 + c_2 \cdot n_q \, {}^7 + c_3 \cdot n_q \, {}^6 + c_4 \cdot n_q \, {}^4 + c_5 \cdot n_q \, {}^3 + c_6 \cdot n_q \, {}^2 + c_7 \cdot n_q \, {}^2 + c_8 \cdot n_q \, {}^1 + c_9 \\ b_2 &= c_1 \cdot n_q \, {}^8 + c_2 \cdot n_q \, {}^7 + c_3 \cdot n_q \, {}^6 + c_4 \cdot n_q \, {}^4 + c_5 \cdot n_q \, {}^3 + c_6 \cdot n_q \, {}^2 + c_7 \cdot n_q \, {}^2 + c_8 \cdot n_q \, {}^1 + c_9 \\ a_3 &= c_1 \cdot n_q \, {}^8 + c_2 \cdot n_q \, {}^7 + c_3 \cdot n_q \, {}^6 + c_4 \cdot n_q \, {}^4 + c_5 \cdot n_q \, {}^3 + c_6 \cdot n_q \, {}^2 + c_7 \cdot n_q \, {}^2 + c_8 \cdot n_q \, {}^1 + c_9 \\ b_3 &= c_1 \cdot n_q \, {}^8 + c_2 \cdot n_q \, {}^7 + c_3 \cdot n_q \, {}^6 + c_4 \cdot n_q \, {}^4 + c_5 \cdot n_q \, {}^3 + c_6 \cdot n_q \, {}^2 + c_7 \cdot n_q \, {}^2 + c_8 \cdot n_q \, {}^1 + c_9 \\ w &= c_1 \cdot n_q \, {}^8 + c_2 \cdot n_q \, {}^7 + c_3 \cdot n_q \, {}^6 + c_4 \cdot n_q \, {}^4 + c_5 \cdot n_q \, {}^3 + c_6 \cdot n_q \, {}^2 + c_7 \cdot n_q \, {}^2 + c_8 \cdot n_q \, {}^1 + c_9 \end{split}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 9, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>C</i> 1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	C5
a_0	-0.0000000071941915544966	0.0000002001394994474110	-0.000023764960141	0.001569835734795	-0.0629469913535133
a_1	-0.0000000152301630945577	0.0000004174874484811200	-0.000048925444901	0.003197857344233	-0.1273605203951220
b_1	0.00000001522718068577850	-0.000000415461897341848	0.000048438943916	-0.003147986716868	0.1245587951729840
a_2	0.00000001110692155909410	-0.000000302629471614221	0.000035209457530	-0.002281832835106	0.0899894602976154
b_2	0.00000000192612735161932	-0.000000055442544808223	0.000006805925116	-0.000464329017993	0.0192103854214338
<i>a</i> ₃	-0.0000000020889128902847	0.000000582810601414563	-0.000006936942087	0.000459275162479	-0.0184691388695222
<i>b</i> ₃	0.00000000138464448665096	-0.00000038686810751257	0.000004628910294	-0.000309251125959	0.0125921729738134
w	-0.0000000013687327906149	0.000000374362153743245	-0.000004373515728	0.000284635370486	-0.0112700102873447
	<i>C</i> ₆	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> 9	<i>C</i> ₁₀
a_0	C ₆ 1.5648923022590600	<i>C</i> ₇ -23.49247414158300	C ₈ 194.2309419847820	<i>C</i> 9 -675.488282721413	<i>C</i> ₁₀
a_0 a_1	C ₆ 1.5648923022590600 3.1614422875066100	C ₇ -23.49247414158300 -47.71855216007930	C ₈ 194.2309419847820 400.1219953806810	C9 -675.488282721413 -1426.944971356050	C ₁₀
$\begin{array}{c} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \end{array}$	C6 1.5648923022590600 3.1614422875066100 -3.0683940191356800	C7 -23.49247414158300 -47.71855216007930 45.89313605637810	C ₈ 194.2309419847820 400.1219953806810 -380.5847947191610	C9 -675.488282721413 -1426.944971356050 1339.261581398480	C ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C6 1.5648923022590600 3.1614422875066100 -3.0683940191356800 -2.2091496314307000	C7 -23.49247414158300 -47.71855216007930 45.89313605637810 32.93945956558710	C ₈ 194.2309419847820 400.1219953806810 -380.5847947191610 -272.5966545465320	C9 -675.488282721413 -1426.944971356050 1339.261581398480 958.297581351687	
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C6 1.5648923022590600 3.1614422875066100 -3.0683940191356800 -2.2091496314307000 -0.4923109589792610	C7 -23.49247414158300 -47.71855216007930 45.89313605637810 32.93945956558710 7.61341706522743	C8 194.2309419847820 400.1219953806810 -380.5847947191610 -272.5966545465320 -64.8226372153901	C9 -675.488282721413 -1426.944971356050 1339.261581398480 958.297581351687 232.338425397081	
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3 \end{array} $	C6 1.5648923022590600 3.1614422875066100 -3.0683940191356800 -2.2091496314307000 -0.4923109589792610 0.4612827535088290	C7 -23.49247414158300 -47.71855216007930 45.89313605637810 32.93945956558710 7.61341706522743 -6.98004516655937	C8 194.2309419847820 400.1219953806810 -380.5847947191610 -272.5966545465320 -64.8226372153901 58.4680159026686	C9 -675.488282721413 -1426.944971356050 1339.261581398480 958.297581351687 232.338425397081 -207.691669186717	
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3 \end{array} $	$\begin{array}{c} C_6 \\ 1.5648923022590600 \\ 3.1614422875066100 \\ \hline \\ -3.0683940191356800 \\ \hline \\ -2.2091496314307000 \\ \hline \\ -0.4923109589792610 \\ \hline \\ 0.4612827535088290 \\ \hline \\ -0.3192838510771930 \end{array}$	C7 -23.49247414158300 -47.71855216007930 45.89313605637810 32.93945956558710 7.61341706522743 -6.98004516655937 4.91194626223695	$\begin{array}{c} C_8 \\ 194.2309419847820 \\ 400.1219953806810 \\ -380.5847947191610 \\ -272.5966545465320 \\ -64.8226372153901 \\ 58.4680159026686 \\ -41.8338962620285 \end{array}$	C9 -675.488282721413 -1426.944971356050 1339.261581398480 958.297581351687 232.338425397081 -207.691669186717 150.852627955751	

Tabela 9: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.

8.4.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda – Varijanta 10

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{87}$$

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(88)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wm karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 8 reda:

a ₀	$= c_1 \cdot n_q^{\ 8} + c_2 \cdot n_q^{\ 7} + c_3 \cdot n_q^{\ 6} + c_4 \cdot n_q^{\ 4} + c_5 \cdot n_q^{\ 3} + c_6 \cdot n_q^{\ 2} + c_7 \cdot n_q^{\ 2} + c_8 \cdot n_q^{\ 1} + c_9$
a ₁	$= c_1 \cdot n_q^{\ 8} + c_2 \cdot n_q^{\ 7} + c_3 \cdot n_q^{\ 6} + c_4 \cdot n_q^{\ 4} + c_5 \cdot n_q^{\ 3} + c_6 \cdot n_q^{\ 2} + c_7 \cdot n_q^{\ 2} + c_8 \cdot n_q^{\ 1} + c_9$
b_1	$=c_{1}\cdot n_{q}{}^{8}+c_{2}\cdot n_{q}{}^{7}+c_{3}\cdot n_{q}{}^{6}+c_{4}\cdot n_{q}{}^{4}+c_{5}\cdot n_{q}{}^{3}+c_{6}\cdot n_{q}{}^{2}+c_{7}\cdot n_{q}{}^{2}+c_{8}\cdot n_{q}{}^{1}+c_{9}$
a_2	$= c_1 \cdot n_q^{\ 8} + c_2 \cdot n_q^{\ 7} + c_3 \cdot n_q^{\ 6} + c_4 \cdot n_q^{\ 4} + c_5 \cdot n_q^{\ 3} + c_6 \cdot n_q^{\ 2} + c_7 \cdot n_q^{\ 2} + c_8 \cdot n_q^{\ 1} + c_9$
b_2	$=c_{1}\cdot n_{q}^{8}+c_{2}\cdot n_{q}^{7}+c_{3}\cdot n_{q}^{6}+c_{4}\cdot n_{q}^{4}+c_{5}\cdot n_{q}^{3}+c_{6}\cdot n_{q}^{2}+c_{7}\cdot n_{q}^{2}+c_{8}\cdot n_{q}^{1}+c_{9}$
w	$= c_1 \cdot n_q^{\ 8} + c_2 \cdot n_q^{\ 7} + c_3 \cdot n_q^{\ 6} + c_4 \cdot n_q^{\ 4} + c_5 \cdot n_q^{\ 3} + c_6 \cdot n_q^{\ 2} + c_7 \cdot n_q^{\ 2} + c_8 \cdot n_q^{\ 1} + c_9$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 10, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	c_1	<i>c</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	С5
a_0	-0.0000000006840884836399	0.00000020331637257198	-0.000002567631155366	0.0001795709154384	-0.007590747230637
a_1	-0.0000000040377961670024	0.000000104943695075467	-0.000011568554439610	0.0007053213740793	-0.025985571487810
b_1	0.00000000500228930933651	-0.00000013188219890021	0.0000147944379262659	-0.000921225773664	0.0347970253239168
a_2	0.00000000248815995021516	-0.0000006878832130251	0.0000081136243225721	-0.000532484238887	0.0212384260102447
b_2	-0.0000000010541975058365	0.00000027732810490588	-0.000003110592356459	0.0001941768088646	-0.007377079229240
W	-0.0000000000612377653155	0.00000001915600964454	-0.000000249177520075	0.0000175858465828	-0.000734728677582
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> 9	
a_0	<i>C</i> ₆ 0.1982381601756740	<i>C</i> ₇ -3.119852248198430	<i>C</i> ₈ 27.05342651952840	<i>C</i> ₉ -99.0588045403801	
a_0 a_1	C6 0.1982381601756740 0.5923733518557350	C7 -3.119852248198430 -8.172496124873870	C8 27.05342651952840 62.60546400655040	<i>C</i> ₉ -99.0588045403801 -205.5542663092460	
$egin{array}{c} a_0 \ a_1 \ b_1 \end{array}$	C6 0.1982381601756740 0.5923733518557350 -0.8162277754127460	C7 -3.119852248198430 -8.172496124873870 11.617271283441200	C8 27.05342651952840 62.60546400655040 -91.85600077612810	<i>C</i> ₉ -99.0588045403801 -205.5542663092460 310.2355426650230	
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C6 0.1982381601756740 0.5923733518557350 -0.8162277754127460 -0.5266409305167510	C7 -3.119852248198430 -8.172496124873870 11.617271283441200 7.924272316416050	C8 27.05342651952840 62.60546400655040 -91.85600077612810 -66.16170746138060	C9 -99.0588045403801 -205.5542663092460 310.2355426650230 235.0725826112420	
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C6 0.1982381601756740 0.5923733518557350 -0.8162277754127460 -0.5266409305167510 0.1746936254601530	C7 -3.119852248198430 -8.172496124873870 11.617271283441200 7.924272316416050 -2.518974327501390	C8 27.05342651952840 62.60546400655040 -91.85600077612810 -66.16170746138060 20.22108573021130	C9 -99.0588045403801 -205.5542663092460 310.2355426650230 235.0725826112420 -68.8364885751104	

Tabela 10: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

U (Prilogu – P13) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 10 (Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 10 (Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za

Wm karakteristiku) sa kojima se dobija *Univerzalna Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 10 (Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 494 i 495. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8.5 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 11 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku)

8.5.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 11) - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest model radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor - 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor - 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) **[54]**, a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:

U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 4 reda, što je jasno prikazano na Slikama 496 - 514 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 4 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 544 - 562 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 4 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 4 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 515 - 524 za *Wh* karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 4 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 9 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 4 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinom 9 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 563 - 568 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 9 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinoma 9 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 9 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 9 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_o , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 4 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq. Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq.*

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za Wh i Wm karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom - nq i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima Wh i Wm karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - ng (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz razvijenih Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 525 - 543 (za Wh karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 569 - 587 (za Wm karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq =25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56)). Na Slici 588 su prikazane Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a Slika 589 prikazuje Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela

korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike dobijene iz *Univerzalnih Jednačina za Wh i* Wm karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 496. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98755)), za Wh karakteristiku.



Slika 497. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.99269)), za Wh karakteristiku.



Slika 498. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.99558)), za Wh karakteristiku.



Slika 499. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.99496)), za Wh karakteristiku.



Slika 500. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.99166)), za Wh karakteristiku.



Slika 501. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99373)), za Wh karakteristiku.



Slika 502. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.9963)), za Wh karakteristiku.



Slika 503. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.9861)), za Wh karakteristiku.



Slika 504. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.99107)), za Wh karakteristiku.



Slika 505. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.99484)), za Wh karakteristiku.



Slika 506. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.98013)), za Wh karakteristiku.



Slika 507. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.98906)), za Wh karakteristiku.



Slika 508. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.98592)), za Wh karakteristiku.



Slika 509. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.99195)), za Wh karakteristiku.



Slika 510. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.99078)), za Wh karakteristiku.



Slika 511. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.99499)), za Wh karakteristiku.



Slika 512. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.99431)), za Wh karakteristiku.



Slika 513. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.99321)), za Wh karakteristiku.



Slika 514. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.99324)), za Wh karakteristiku.



Slika 515. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 516. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 517. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 518. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 519. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 520. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 521. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 522. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_4 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 523. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_4 – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 524. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wh karakteristiku.



Slika 525. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=15.7.



Slika 526. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 17.53.


Slika 527. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=20.73.



Slika 528. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=22.1.



Slika 529. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=24.8.



Slika 530. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=25.5.



Slika 531. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 532. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=27.



Slika 533. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.6.



Slika 534. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 28.8.



Slika 535. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 536. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 537. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 35.89.



Slika 538. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 37.4.



Slika 539. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=38.



Slika 540. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 541. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 542. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 50.



Slika 543. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=56.



Slika 544. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 545. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 546. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 547. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 548. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 549. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 550. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 551. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 552. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 553. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.



Slika 554. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 555. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 556. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 557. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 558. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 559. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 560. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97183)), za Wm karakteristiku.



Slika 561. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.



Slika 562. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 563. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 564. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 565. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 566. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 567. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 568. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijeove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 569. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 15.7.



Slika 570. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 571. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 572. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=22.1.



Slika 573. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=24.8.



Slika 574. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=25.5.



Slika 575. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 576. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=27.



Slika 577. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.6.



Slika 578. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=28.8.



Slika 579. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.3.



Slika 580. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 581. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 582. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 583. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=38.



Slika 584. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 585. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 586. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=50.



Slika 587. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=56.



Slika 588. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 589. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.5.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda – Varijanta 11

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h,} = f(nq, \theta) \tag{89}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 4 reda):

 $W_{h} = a_{0} + a_{1} \cos(\theta \cdot w) + b_{1} \sin(\theta \cdot w) + a_{2} \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_{2} \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_{3} \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_{3} \sin(3 \cdot \theta \cdot w) + a_{4} \cos(4 \cdot \theta \cdot w) + b_{4} \sin(4 \cdot \theta \cdot w)$ (90)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 9 reda:

$$a_{0} = c_{1} \cdot n_{q}^{9} + c_{2} \cdot n_{q}^{8} + c_{3} \cdot n_{q}^{7} + c_{4} \cdot n_{q}^{6} + c_{5} \cdot n_{q}^{5} + c_{6} \cdot n_{q}^{4} + c_{7} \cdot n_{q}^{3} + c_{8} \cdot n_{q}^{2} + c_{9} \cdot n_{q}^{1} + c_{10}$$

$$a_{1} = c_{1} \cdot n_{q}^{9} + c_{2} \cdot n_{q}^{8} + c_{3} \cdot n_{q}^{7} + c_{4} \cdot n_{q}^{6} + c_{5} \cdot n_{q}^{5} + c_{6} \cdot n_{q}^{4} + c_{7} \cdot n_{q}^{3} + c_{8} \cdot n_{q}^{2} + c_{9}$$

$$428$$

$$\begin{array}{l} \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{1} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{2} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{2} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{3} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{3} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{4} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{4} = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ w = c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ \cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \end{array}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 11, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>C</i> 1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	C5
a_0	0.000000001483124577611	-0.0000000456659376347666	0.00000613578779700468	-0.0004718019124193	0.02285879496616
a_1	0.000000000149746639175	-0.000000055903531419303	0.00000088652748684454	-0.0000787571629071	0.00433188171526
b_1	-0.00000000156161553316	0.0000000489944038169126	-0.0000067063266430236	0.0005251084191534	-0.02589178156983
a_2	-0.00000000109835366344	0.000000343561383548694	-0.0000046876609075013	0.0003658027867456	-0.01797197552495
b_2	0.000000000429066366325	-0.000000133873894456354	0.0000018202543097994	-0.0001414450183278	0.00691757442634
<i>a</i> ₃	0.000000000210850648552	-0.000000065071433182407	0.0000008770652486108	-0.0000677216662989	0.00329895894350
b_3	-0.0000000032919604812	0.000000102603536322507	-0.000001394931624978	0.00010848234481015	-0.00531376495473
a_4	-0.00000000000440744767	0.000000002233043467186	-0.00000040943927203	0.00000390872858849	-0.00022184483731
b_4	0.00000000045845170184	-0.000000144168394512080	0.0000019773158226702	-0.0001550616904532	0.00765265161903
W	0.00000000010153287500	-0.000000032202519032172	0.0000004458615800541	-0.0000353162944111	0.00176053710614
	<i>C</i> ₆	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> 9	<i>C</i> ₁₀
a_0	-0.72290265217385900	14.904405618379200	-192.929777701929	1420.95321736821	-4531.66182302701
a_1	-0.15325392842910800	3.491252098236360	-49.42289555231910	394.7563686236520	-1356.83910295613
b_1	0.83274221924664700	-17.448846331869500	229.409121150463	-1715.40142142772	5554.05014697887
a_2	0.57583846875931900	-12.018955721533900	157.410871214888	-1172.76778277565	3784.37904248444
b_2	-0.22068409136372600	4.590359053360550	-60.0139643577423	447.3984941818910	-1448.69029567832
<i>a</i> ₃	-0.10506395814251700	2.185881397049690	-28.6264928632753	213.9661655604780	-694.969331998672
b_3	0.16986189813235100	-3.540469620672820	46.35938029125110	-345.7782831314710	1118.675045669680

Tabela 11: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.

a_4	0.00790572650884895	-0.178925823761283	2.50042322174394	-19.6975324318129	66.9223375772029
b_4	-0.24616732022711200	5.154659912457500	-67.67115282446900	504.9029624675620	-1630.22245311844
W	-0.05716707191022150	1.206609576121150	-15.93021615975910	119.1678726400810	-383.488164180874

8.5.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda – Varijanta 11

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{91}$$

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku ima izgled (Furijeova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(92)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wm karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 9 reda:

$$\begin{split} a_{0} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ \end{split}$$

$$w = c_1 \cdot n_q^{9} + c_2 \cdot n_q^{8} + c_3 \cdot n_q^{7} + c_4 \cdot n_q^{6} + c_5 \cdot n_q^{5} + c_6 \cdot n_q^{4} + c_7 \cdot n_q^{3} + c_8 \cdot n_q^{2} + c_9 \cdot n_q^{1} + c_{10}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 12, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>C</i> ₁	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	C5		
a_0	0.00000000011680825665761	-0.00000003605973538133	0.000000487105468434	-0.00003776438934533	0.00184999531194469		
a_1	-0.0000000000828695841011	0.00000002105944635391	-0.000000226208865261	0.000013401775540240	-0.0004797607338572		
b_1	-0.0000000004354843286537	0.00000013688971131811	-0.000001872107541862	0.000146014927381898	-0.007148898950970		
a_2	-0.0000000001950013488629	0.00000006154476313304	-0.000000848027129387	0.000066871588176315	-0.0033211142536125		
b_2	0.00000000012792679350824	-0.00000003979711864354	0.0000005389370799933	-0.00004165759704622	0.0020236025957168		
w	-0.0000000000011617350656	0.000000000290596348520	-0.00000002726772296	0.000000100877427722	0.00000097237548484		
	<i>C</i> ₆	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀		
a_0	<i>C</i> ₆ -0.059307127211933400	<i>C</i> ₇ 1.24220734128243000	C ₈ -16.364129806873900	<i>C</i> ₉ 122.84280925203100	<i>C</i> ₁₀ -399.932227420309		
a_0 a_1	C ₆ -0.059307127211933400 0.010704599425104200	<i>C</i> ₇ 1.24220734128243000 -0.14827028363717600	C ₈ -16.364129806873900 1.223652782979380	<i>C</i> ₉ 122.84280925203100 -5.35228604771694	<i>C</i> ₁₀ -399.932227420309 7.90029710565952		
a_0 a_1 b_1	C6 -0.059307127211933400 0.010704599425104200 0.227605938501780000	C7 1.24220734128243000 -0.14827028363717600 -4.70835176538847000	C8 -16.364129806873900 1.223652782979380 60.994562633398300	C ₉ 122.84280925203100 -5.35228604771694 -448.97780213128700	<i>C</i> ₁₀ -399.932227420309 7.90029710565952 1431.95128707579		
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C ₆ -0.059307127211933400 0.010704599425104200 0.227605938501780000 0.107574479152904000	C7 1.24220734128243000 -0.14827028363717600 -4.70835176538847000 -2.26945778527578000	C8 -16.364129806873900 1.223652782979380 60.994562633398300 30.034455812136700	C ₉ 122.84280925203100 -5.35228604771694 -448.97780213128700 -226.07385214071800	<i>C</i> ₁₀ -399.932227420309 7.90029710565952 1431.95128707579 737.354912413844		
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C6 -0.059307127211933400 0.010704599425104200 0.227605938501780000 0.107574479152904000 -0.064016146126722200	C7 1.24220734128243000 -0.14827028363717600 -4.70835176538847000 -2.26945778527578000 1.31803429062862000	C8 -16.364129806873900 1.223652782979380 60.994562633398300 30.034455812136700 -17.023924653370700	C ₉ 122.84280925203100 -5.35228604771694 -448.97780213128700 -226.07385214071800 125.12829808155000	C10 -399.932227420309 7.90029710565952 1431.95128707579 737.354912413844 -398.348916411191		

Tabela 12: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

U (Prilogu – P14) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 11 (Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 11 (Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za *Wm* karakteristiku) sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina za *Wh* i *Wm* karakteristike, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 11 (Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 588 i 589. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8.6 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 12 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wm karakteristiku)

8.6.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 12) - Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest model radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor - 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor - 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) **[54]**, a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:
U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 5 reda, što je jasno prikazano na Slikama 590 - 608 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijerova funkcija 5 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 640 - 658 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 , w) su uzeti iz devetnest Furijerovih funkcija 5 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za Wh karakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijerovih funkcija 5 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za Wh karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 609 - 620 za Wh karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijerovih funkcija 5 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 9 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijerovih funkcija 5 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinoma 9 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti $(a_o, a_1, a_2, b_1, b_2, w)$ su uzeti iz devetnest Furijerovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 659 - 664 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 9 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata

 $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, w)$ i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnihturbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Gausove funkcije 3 reda – Gausov model od 3 pika u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 5 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq. Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq.*

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za Wh i Wm karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom - ng i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima Wh i Wm karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz razvijenih Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 621 - 639 (za Wh karakteristiku za devetnest Suterovih krivih -nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 25.526.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 665 - 683 (za Wm karakteristiku za devetnest Suterovih krivih -nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56)). Na Slici 684 su prikazane Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wh karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a Slika 685 prikazuje Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za Wm karakteristiku dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike disertacije je koristio Suterove krive za Wh i Wm karakteristike dobijene iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 590. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98903)), za Wh karakteristiku.



Slika 591. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.994)), za Wh karakteristiku.



Slika 592. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.99583)), za Wh karakteristiku.



Slika 593. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.99804)), za Wh karakteristiku.



Slika 594. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.9938)), za Wh karakteristiku.



Slika 595. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99671)), za Wh karakteristiku.



Slika 596. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.99833)), za Wh karakteristiku.



Slika 597. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.99102)), za Wh karakteristiku.



Slika 598. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.99469)), za Wh karakteristiku.



Slika 599. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.99604)), za Wh karakteristiku.



Slika 600. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.9916)), za Wh karakteristiku.



Slika 601. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.99554)), za Wh karakteristiku.



Slika 602. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.99367)), za Wh karakteristiku.



Slika 603. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.99718)), za Wh karakteristiku.



Slika 604. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9944)), za Wh karakteristiku.



Slika 605. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.99856)), za Wh karakteristiku.



Slika 606. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.99792)), za Wh karakteristiku.



Slika 607. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.99669)), za Wh karakteristiku.



Slika 608. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 5 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.99786)), za Wh karakteristiku.



Slika 609. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 610. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 611. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 612. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 613. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 614. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 615. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 616. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_4 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 617. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_4 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 618. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_5 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 619. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_5 – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 620. Regresijom (Polinomom 9 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijerove funkcije 5 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 621. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=15.7.



Slika 622. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=17.53.



Slika 623. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 624. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=22.1.



Slika 625. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 24.8.



Slika 626. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=25.5.



Slika 627. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 628. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=27.



Slika 629. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 28.6.



Slika 630. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 28.8.



Slika 631. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 632. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 633. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 634. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 635. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=38.



Slika 636. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 637. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 638. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=50.



Slika 639. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=56.



Slika 640. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 641. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 642. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 643. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 644. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 645. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 646. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 647. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 648. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 649. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.



Slika 650. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 651. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 652. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 653. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 654. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 655. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 656. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97183)), za Wm karakteristiku.



Slika 657. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.


Slika 658. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 659. Regresijom (Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata $(a_0 - iz Furijerove funkcije 2 reda)$ i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 660. Regresijom (Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata $(a_1 - iz Furijerove funkcije 2 reda)$ i specifične brzine -nq (13 modela radijalnih pumpnihturbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Gausova jednačina 3 stepena za koeficijent b_1 od Fouriera 2 stepena

Slika 661. Regresijom (Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata $(b_1 - iz Furijerove funkcije 2 reda)$ i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnihturbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 662. Regresijom (Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a₂ – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 663. Regresijom (Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b₂ – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 664. Regresijom (Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 665. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=15.7.



Slika 666. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 667. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq = 20.73.



Slika 668. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=22.1.



Slika 669. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=24.8.



Slika 670. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=25.5.



Slika 671. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 672. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=27.



Slika 673. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.6.



Slika 674. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.8.



Slika 675. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.3.



Slika 676. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 677. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 678. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 679. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=38.



Slika 680. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 681. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 682. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=50.



Slika 683. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=56.



Slika 684. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 685. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.6.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda – Varijanta 12

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h,} = f(nq, \theta) \tag{93}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijerova funkcija 5 reda):

 $W_{h} = a_{0} + a_{1} \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_{1} \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_{2} \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_{2} \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_{3} \cdot \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_{3} \cdot \sin(3 \cdot \theta \cdot w) + a_{4} \cdot \cos(4 \cdot \theta \cdot w) + b_{4} \cdot \sin(4 \cdot \theta \cdot w) + a_{5} \cdot \cos(5 \cdot \theta \cdot w) + b_{5} \cdot \sin(5 \cdot \theta \cdot w)$ (94)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 9 reda:

$$\begin{split} a_{0} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{3} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ a_{4} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{4} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{5} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-3} + c_{8} \cdot n_{q}^{-2} + c_{9} \\ &\cdot n_{q}^{-1} + c_{10} \\ b_{5} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-9} + c_{2} \cdot n_{q}^{-8} + c_{3} \cdot n_{q}^{-7} + c_{4} \cdot n_{q}^{-6} + c_{5} \cdot n_{q}^{-5} + c_{6} \cdot n_{q}^{-4} + c_{7} \cdot n_{q}^{-$$

$$w = c_1 \cdot n_q^{9} + c_2 \cdot n_q^{8} + c_3 \cdot n_q^{7} + c_4 \cdot n_q^{6} + c_5 \cdot n_q^{5} + c_6 \cdot n_q^{4} + c_7 \cdot n_q^{3} + c_8 \cdot n_q^{2} + c_9 \cdot n_q^{1} + c_{10}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 13, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>C</i> ₁	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	<i>C</i> 5
a_0	0.0000000000222752081735	0.00000000000746043787443	-0.0000000996979953557	0.0000159910305085	-0.00121789304382
a_1	-0.000000000985345589402	0.00000029878451956899500	-0.0000039529040602605	0.0002993908888804	-0.01430271029464
b_1	0.0000000006537081513489	-0.00000002030587167672620	0.0000027635851293094	-0.0002163535500722	0.01074058682124
a_2	0.0000000001517519230302	-0.0000000496032132925765	0.0000007154612462950	-0.0000597592595735	0.00318296067274
b_2	0.0000000024101930392032	-0.00000007523812440504510	0.0000102508513132967	-0.0007994551828851	0.03930161429305
<i>a</i> ₃	0.0000000007788660088205	-0.00000002446997847804600	0.0000033590198876066	-0.0002642302707014	0.01311594213135
b_3	-0.000000000394200169840	0.000000012217715847756700	-0.0000016524894036455	0.0001279340042024	-0.00624384792629
a_4	0.000000002457664382015	-0.0000000806539236384757	0.0000011563609185520	-0.0000949274326042	0.00490942641771
b_4	0.0000000000949183684374	-0.0000000278964109734293	0.0000003522864135437	-0.0000249166136057	0.00107645967120
<i>a</i> 5	-0.000000000180937117301	0.00000005464185550308950	-0.0000007221076652398	0.0000548527943207	-0.00264173379308
b_5	-0.000000000001680267756	0.00000000560037280421419	-0.0000001480108904131	0.0000172709274948	-0.00113336595664
w	-0.000000000350871815841	0.000000010821734507197800	-0.0000014561447524457	0.0001121394252697	-0.00544471830155
	<i>C</i> ₆	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
<i>a</i> ₀	<i>C</i> ₆ 0.0541251324010482	<i>C</i> ₇ -1.479805955797970	C ₈ 24.54960898214220	<i>C</i> 9 -226.5789008824530	<i>C</i> ₁₀ 890.067352101499
a_0 a_1	C ₆ 0.0541251324010482 0.4468440858784710	C ₇ -1.479805955797970 -9.127515208869680	C ₈ 24.54960898214220 117.51306604849600	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540	C ₁₀ 890.067352101499 2770.67552811010
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130	C ₈ 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720	C ₁₀ 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730	C ₈ 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460	C ₁₀ 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460 2621.3372269439900	C10 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400 -0.4256881437796030	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100 9.025483550010260	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800 -120.42925435045800	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460 2621.3372269439900 916.7327929538220	C10 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652 -3029.99595147846
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400 -0.4256881437796030 0.1990913323318370	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100 9.025483550010260 -4.144782214762320	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800 -120.42925435045800 54.28923693214120	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460 2621.3372269439900 916.7327929538220 -405.6852302594130	C10 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652 -3029.99595147846 1316.89446184351
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3\\ a_4 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400 -0.4256881437796030 0.1990913323318370 -0.1656095133279460	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100 9.025483550010260 -4.144782214762320 3.637771032702450	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800 -120.42925435045800 54.28923693214120 -50.09613392005990	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460 2621.3372269439900 916.7327929538220 -405.6852302594130 391.9116353377320	C10 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652 -3029.99595147846 1316.89446184351 -1325.54207573217
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3\\ a_4\\ b_4 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400 -0.4256881437796030 0.1990913323318370 -0.1656095133279460 -0.0289579453589674	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100 9.025483550010260 -4.144782214762320 3.637771032702450 0.469648850383232	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800 -120.42925435045800 54.28923693214120 -50.09613392005990 -4.10250314680034	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460 2621.3372269439900 916.7327929538220 -405.6852302594130 391.9116353377320 13.0347850621519	C10 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652 -3029.99595147846 1316.89446184351 -1325.54207573217 21.7580121829851
$ \begin{array}{c} a_{0} \\ a_{1} \\ b_{1} \\ a_{2} \\ b_{2} \\ a_{3} \\ b_{3} \\ a_{4} \\ b_{4} \\ a_{5} \\ \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400 -0.4256881437796030 0.1990913323318370 -0.1656095133279460 -0.0289579453589674 0.0837145630047144	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100 9.025483550010260 -4.144782214762320 3.637771032702450 0.469648850383232 -1.746333116178210	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800 -120.42925435045800 54.28923693214120 -50.09613392005990 -4.10250314680034 23.12148877661600	C9 -226.5789008824530 -864.9233259684540 802.5496341138720 319.4800663849460 2621.3372269439900 916.7327929538220 -405.6852302594130 391.9116353377320 13.0347850621519 -176.1485818612130	C ₁₀ 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652 -3029.99595147846 1316.89446184351 -1325.54207573217 21.7580121829851 587.316731580894
$ \begin{array}{r} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ a_3 \\ b_3 \\ a_4 \\ b_4 \\ a_5 \\ b_5 \end{array} $	C6 0.0541251324010482 0.4468440858784710 -0.3507198849776120 -0.1119422123509300 -1.2620431310661400 -0.4256881437796030 0.1990913323318370 -0.1656095133279460 -0.0289579453589674 0.0837145630047144 0.0454661343704326	C7 -1.479805955797970 -9.127515208869680 7.532893564066130 2.593431424771730 26.452038063744100 9.025483550010260 -4.144782214762320 3.637771032702450 0.469648850383232 -1.746333116178210 -1.138536354368660	C8 24.54960898214220 117.51306604849600 -102.57471636511800 -38.04673273729810 -348.69706904620800 -120.42925435045800 54.28923693214120 -50.09613392005990 -4.10250314680034 23.12148877661600 17.34989300307600	$\begin{array}{c} C_9 \\ -226.5789008824530 \\ -864.9233259684540 \\ 802.5496341138720 \\ 319.4800663849460 \\ 2621.3372269439900 \\ 916.7327929538220 \\ -405.6852302594130 \\ 391.9116353377320 \\ 13.0347850621519 \\ -176.1485818612130 \\ -146.9199722947070 \\ \end{array}$	C10 890.067352101499 2770.67552811010 -2741.93754562651 -1164.89594344682 -8555.66671895652 -3029.99595147846 1316.89446184351 -1325.54207573217 21.7580121829851 587.316731580894 528.788310946554

Tabela 13: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.

8.6.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika – Varijanta 12

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{95}$$

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku ima izgled (Furijerova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(96)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wm karakteristiku* su izraženi koristeći Gausovu funkciju 3 reda – Gausov model od 3 pika:

$$\begin{split} a_{0} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ a_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ b_{2} &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \\ w &= c_{1} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{2}}{c_{s}}\right)^{2}} + c_{4} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{5}}{c_{6}}\right)^{2}} + c_{7} \cdot e^{\left(\frac{n_{q} - c_{8}}{c_{9}}\right)^{2}} \end{split}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 14, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

					1
	c_1	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	<i>C</i> 5
a_0	0.2396989599392460	25.6152513832965	0.921235726763537	0.356686480636697	29.6181439335044
a_1	-161604085071244.00	-1348.64837068958	237.118925186141000	-0.431556584079404	31.5813678777715
b_1	397.8922912225740	61.7661994698937	2.035702378740950	0.000000000000000	124.4074888973250
a_2	1067684.0290807000	30.3755017996734	0.134329574271467	-29282515.95866490	29.8365501392376
b_2	-4.1467342213550000	27.4518852445997	14.438662577382400	4.390855444171340	27.3740653678572
W	0.0757698656680684	26.2601890811220	6.898666253721750	0.971459766358391	45.8125229368510
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> 9	<i>C</i> ₁₀
<i>a</i> ₀	C ₆ 0.863734999340850	C7 0.177838213610671	C ₈ 54.50312851955850	<i>C</i> 9 19.06095070390450	<i>C</i> ₁₀
<i>a</i> ₀ <i>a</i> ₁	C ₆ 0.863734999340850 4.979020168320690	C7 0.177838213610671 -0.732700395540283	C ₈ 54.50312851955850 51.37050333406420	C9 19.06095070390450 15.82124676270580	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1 \end{array} $	C6 0.863734999340850 4.979020168320690 7.597395711925160	C7 0.177838213610671 -0.732700395540283 26.516151737300700	C ₈ 54.50312851955850 51.37050333406420 1115.66434507875000	C9 19.06095070390450 15.82124676270580 572.44162899584500	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C6 0.863734999340850 4.979020168320690 7.597395711925160 0.243334753472403	C7 0.177838213610671 -0.732700395540283 26.516151737300700 0.202057948914174	C8 54.50312851955850 51.37050333406420 1115.66434507875000 23.56465837532410	C9 19.06095070390450 15.82124676270580 572.44162899584500 83.95311922599840	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C6 0.863734999340850 4.979020168320690 7.597395711925160 0.243334753472403 15.381516045760300	C7 0.177838213610671 -0.732700395540283 26.516151737300700 0.202057948914174 0.267119335754774	C8 54.50312851955850 51.37050333406420 1115.66434507875000 23.56465837532410 52.08208840300900	C9 19.06095070390450 15.82124676270580 572.44162899584500 83.95311922599840 2.63767879223153	<i>C</i> ₁₀

Tabela 14: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

U (Prilogu – P15) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 12 (Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje.

Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 12 (Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wm* karakteristiku) sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina za *Wh* i *Wm* karakteristike, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 12 (Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 684 i 685. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

8.7 Pronalaženje analitičke veze (univerzalne zakonitosti) sa regresionim postupkom za krive Wh i Wm karakteristike za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina (Varijanta 13 – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku)

8.7.1 Detalji postupka i varijante

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u trajanju od sedam godina autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje *Univerzalne jednačine za Wh i Wm karakteristike*: (Varijanta 13) - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za *Wm* karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno.

Nakon procesa preračunavanjem sa Četvoro-kvadrantnih krivih u Suterove krive za sve otvore lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina, zajedno su predstavljene Suterove krive za optimalni otvor lopatica sprovodnog aparata za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i Suterove krive za šest model radijalne pumpe: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], koje su dalje korišćene u postupku dobijanja Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike.

Pumpne-turbine - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor - 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor -

24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) – Austrija; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina.

Na osnovu detaljne analize strukture navedenih krivih auto ove doktorske disertacije je došao do zaključka da u narednim koracima treba zajedno posmatrati Suterove krive za radijalne pumpne-turbine i Suterove krive za radijalne pumpe, te da na osnovu njih, u razvijenim numeričkim modelom u Matlab programu (koje je razvio autor ove doktorske disertacije) dobijaju se *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*. Dakle, u daljem dijelu teksta biće objašnjena varijanta numeričkog modela koji je razvijen u Matlab programu za dobijanje *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* za radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe (regresiona procedura) **[54]**, a dobijeni rezultati biće prikazani na dijagramima.

Pošto je cilj ove doktorske disertacije analiza Četvoro – kvadrantnih radnih karakteristika (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) , sa idejom utvrđivanja zakonitosti koje postoje. Poznato je da u pumpnom i turbinskom režimu radne krive (Q_{11}, n_{11}, M_{11}) su stabilne i podaci za te režime su detaljnije proučavani u literaturi nego za kompletne Četvoro – kvadrantne karakteristične krive.

Autor ove doktorske disertacije je u Matlab programu na osnovu podataka 13 Suterovih krivih za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i na osnovu podataka Suterove krive za za šest model radijalnih pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 22.1 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7], razvio je numerički model koristeći proceduru regresije, za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, za analizu postojanja opštije zakonitosti u vidu dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine - nq. Proces razvijanja numeričkog modela za dobijanje *Univerzalne Jednačine za karakteristike Wh i Wm* sastoji se od sledećih koraka koji su sprovedeni:

U prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za *Wh* karakteristike) za 13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 4 reda, što je jasno prikazano na Slikama 686 - 704 (za *Wh* karakteristike), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijerova funkcija 4 reda, za karakteristiku *Wh*.

Takođe u prvom koraku, za svih devetnest Suterovih krivih (za svaku krivu posebno za Wm karakteristiku) za 13 modela radijalnih pumpih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi u teta opsegu od 0° do 360°, prolazi kroz svaku od devetnest Suterovih krivih Furijerova funkcija 2 reda, što je jasno prikazano na Slikama 734 - 752 (za Wm karakteristiku), u ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani svi dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih (nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) kroz koje prolazi Furijeova funkcija 2 reda, za karakteristiku Wm.

U drugom koraku, koeficijenti (a_o , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , w) su uzeti iz devetnest Furijerovih funkcija 4 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristiku. Zatim je auto ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijerovih funkcija 4 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno i za *Wh* karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 705 - 714 za *Wh* karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijerovih funkcija 4 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 8 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijerovih funkcija 4 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaki od ovih Polinoma 8 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

Takođe u drugom koraku, koeficijenti $(a_o, a_1, a_2, b_1, b_2, w)$ su uzeti iz devetnest Furijerovih funkcija 2 reda, koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wmkarakteristike. Zatim je autor ove doktorske disertacije posebno (na posebnim dijagramima) grupisao vrijednosti za svaki od ovih koeficijenata iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prolazile kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za svaku krivu posebno za Wm karakteristike. Na svakom od ovih dijagrama, koji su prikazani na Slikama 753 - 758 za Wm karakteristiku, prikazane su vrijednosti ovih koeficijenata iz Furijeovih funkcija 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq. I na svakom od ovih dijagrama, Polinom 6 reda se propušta kroz vrijednosti koeficijenata navedenih na ovim dijagramima, koji su uzeti iz devetnest Furijeovih funkcija 2 reda koje su prošle kroz svaku od devetnest Suterovih krivih (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a svaka od ovih Polinoma 6 reda ima ulogu da pokaže zavisnost ovih koeficijenata od specifične brzine – nq.

U trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 8 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.

Takođe u trećem koraku, regresijom koja je izvedena pomoću Polinoma 6 reda u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , w) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.

U četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - *nq*. *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 4 reda u zavisnosti od specifične brzine - *nq*.

Takođe u četvrtom koraku, na osnovu navedenih koraka u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, dobijena je *Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku* u zavisnosti od specifične brzine - nq. *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* je izražena u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu sa Furijerovom jednačinom 2 reda u zavisnosti od specifične brzine - nq.

U petom koraku, na osnovu razvijenog numeričkog modela u Matlab programu, iz *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, autor ove doktorske disertacije je dobio vrijednosti za *Wh i Wm* karakteristike za 19 Suterovih krivih sa različitom specifičnom brzinom – nq i uporedio te vrijednosti sa vrijednostima *Wh* i *Wm* karakteristika za 19 Suterovih krivih dobijenih preračunavanjem krivih modela sa različitim specifičnim brzinama - nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi). Autor ove doktorske disertacije je uporedio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike koje su dobijene preračunavanjem iz modelskih krivih, sa Suterovim krivama za *Wh* i *Wm* karakteristike koje su dobijene iz razvijenih *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike*, dijagrami za svih devetnest Suterovih krivih su prikazani, kao što je prikazano na Slikama 715 - 733 (za *Wh* karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56) i na Slikama 759 - 777 (za *Wm* karakteristiku za devetnest Suterovih krivih – nq = 15.7; nq = 17.53; nq = 20.73; nq = 22.1; nq = 24.8; nq = 25.5; nq = 26.24; nq = 27; nq = 28.6; nq = 28.8; nq = 30.3; nq = 30.95; nq = 35.89; nq = 37.4; nq = 38; nq = 41.6; nq = 43.83; nq = 50; nq = 56)). Na Slici 778 su prikazane Suterove krive za *Wh* karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za *Wh* karakteristiku dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh* karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), a Slika 779 prikazuje Suterove krive za *Wm* karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za *Wm* karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za *Wm* karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za *Wm* karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za *Wm* karakteristiku dobijene preračunavanjem modelskih krivih i Suterove krive za *Wm* karakteristiku dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wm* karakteristiku (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

U program Matlab je razvijen numerički model za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su ugrađene dvije pumpe (za izradu ovog numeričkog modela korišćena je metoda karakteristika - MOC), a kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike, koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrednosti specifične brzine - nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu, autor ove doktorske disertacije je koristio Suterove krive za *Wh* i *Wm* karakteristike dobijene iz *Univerzalnih Jednačina za Wh* i *Wm* karakteristike za različite vrijednosti specifične brzine - nq, više o prethodno pomenutom biće riječi u narednom poglavlju ove doktorske disertacije.



Slika 686. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.98755)), za Wh karakteristiku.



Slika 687. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.99269)), za Wh karakteristiku.



Slika 688. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.99558)), za Wh karakteristiku.



Slika 689. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.99496)), za Wh karakteristiku.



Slika 690. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.99166)), za Wh karakteristiku.



Slika 691. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99373)), za Wh karakteristiku.



Slika 692. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.9963)), za Wh karakteristiku.



Slika 693. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.9861)), za Wh karakteristiku.



Slika 694. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.99107)), za Wh karakteristiku.



Slika 695. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.99484)), za Wh karakteristiku.



Slika 696. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.98013)), za Wh karakteristiku.



Slika 697. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.98906)), za Wh karakteristiku.



Slika 698. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.98592)), za Wh karakteristiku.



Slika 699. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.99195)), za Wh karakteristiku.



Slika 700. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.99078)), za Wh karakteristiku.



Slika 701. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.99499)), za Wh karakteristiku.



Slika 702. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.99431)), za Wh karakteristiku.



Slika 703. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.99321)), za Wh karakteristiku.



Slika 704. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 4 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.99324)), za Wh karakteristiku.



Slika 705. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 706. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 707. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 708. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 709. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 710. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_3 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 711. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_3 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 712. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_4 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 713. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_4 – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za *Wh* karakteristiku.



Slika 714. Regresijom (Polinomom 8 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijerove funkcije 4 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wh karakteristiku.



Slika 715. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq=15.7.



Slika 716. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=17.53.


Slika 717. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 718. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=22.1.



Slika 719. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=24.8.



Slika 720. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=25.5.



Slika 721. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 722. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=27.



Slika 723. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.6.



Slika 724. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=28.8.



Slika 725. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.3.



Slika 726. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 30.95.



Slika 727. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh* karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 728. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 37.4.



Slika 729. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=38.



Slika 730. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Universalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 41.6.



Slika 731. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq= 43.83.



Slika 732. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=50.



Slika 733. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne jednačine za Wh karakteristiku* za nq=56.



Slika 734. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=15.7 (R²=0.97019)), za Wm karakteristiku.



Slika 735. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=17.53 (R²=0.95695)), za Wm karakteristiku.



Slika 736. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=20.73 (R²=0.97716)), za Wm karakteristiku.



Slika 737. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=22.1 (R²=0.97137)), za Wm karakteristiku.



Slika 738. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=24.8 (R²=0.96313)), za Wm karakteristiku.



Slika 739. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=25.5 (R²=0.99295)), za Wm karakteristiku.



Slika 740. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=26.24 (R²=0.95478)), za Wm karakteristiku.



Slika 741. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=27 (R²=0.94715)), za Wm karakteristiku.



Slika 742. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.6 (R²=0.9626)), za Wm karakteristiku.



Slika 743. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=28.8 (R²=0.9904)), za Wm karakteristiku.



Slika 744. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.3 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 745. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=30.95 (R²=0.9453)), za Wm karakteristiku.



Slika 746. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=35.89 (R²=0.94539)), za Wm karakteristiku.



Slika 747. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=37.4 (R²=0.95244)), za Wm karakteristiku.



Slika 748. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=38 (R²=0.9439)), za Wm karakteristiku.



Slika 749. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=41.6 (R²=0.96779)), za Wm karakteristiku.



Slika 750. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=43.83 (R²=0.97183)), za Wm karakteristiku.



Slika 751. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=50 (R²=0.97268)), za Wm karakteristiku.



Slika 752. U razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu, Furijerova funkcija 2 reda je propuštena kroz Suterove krive (koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11}) za nq=56 (R²=0.97236)), za Wm karakteristiku.



Slika 753. Regresijom (Polinomom 6 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_0 – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 754. Regresijom (Polinomom 6 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_1 – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 755. Regresijom (Polinomom 6 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_1 – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 756. Regresijom (Polinomom 6 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (a_2 – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 757. Regresijom (Polinomom 6 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (b_2 – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 758. Regresijom (Polinomom 6 reda) u razvijenom numeričkom modelu u Matlab programu utvrđena je zavisnost između vrijednosti koeficijenata (w – iz Furijerove funkcije 2 reda) i specifične brzine – nq (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi), za Wm karakteristiku.



Slika 759. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=15.7.



Slika 760. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 17.53.



Slika 761. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 20.73.



Slika 762. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=22.1.



Slika 763. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 24.8.



Slika 764. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=25.5.



Slika 765. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 26.24.



Slika 766. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=27.



Slika 767. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.6.



Slika 768. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 28.8.



Slika 769. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.3.



Slika 770. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 30.95.



Slika 771. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 35.89.



Slika 772. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 37.4.



Slika 773. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=38.



Slika 774. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 41.6.



Slika 775. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq= 43.83.



Slika 776. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=50.



Slika 777. Poređenje Suterovih krivih za Wm karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivima za Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne jednačine za Wm karakteristiku za nq=56.



Slika 778. Poređenje Suterovih krivih za *Wh* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} sa Suterovim krivama za *Wh* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wh karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).



Slika 779. Poređenje Suterovih krivih za *Wm* karakteristiku koje su dobijene preračunavanjem modelskih krivih *Q*₁₁, *n*₁₁, *M*₁₁ sa Suterovim krivama za *Wm* karakteristiku koje su dobijene iz *Univerzalne Jednačine za Wm karakteristiku* (13 modela radijalnih pumpnih-turbina i 6 modela radijalnih pumpi).

8.7.2 Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda – Varijanta 13

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wh karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{h,} = f(nq, \theta) \tag{97}$$

Univerzalna jednačina za Wh karakteristiku ima izgled (Furijerova funkcija 4 reda):

 $W_{h} = a_{0} + a_{1} \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_{1} \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_{2} \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_{2} \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w) + a_{3} \cdot \cos(3 \cdot \theta \cdot w) + b_{3} \cdot \sin(3 \cdot \theta \cdot w) + a_{4} \cdot \cos(4 \cdot \theta \cdot w) + b_{4} \cdot \sin(4 \cdot \theta \cdot w)$ (98)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wh karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 8 reda:

 $\begin{aligned} a_{0} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-8} + c_{2} \cdot n_{q}^{-7} + c_{3} \cdot n_{q}^{-6} + c_{4} \cdot n_{q}^{-4} + c_{5} \cdot n_{q}^{-3} + c_{6} \cdot n_{q}^{-2} + c_{7} \cdot n_{q}^{-2} + c_{8} \cdot n_{q}^{-1} + c_{9} \\ a_{1} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-8} + c_{2} \cdot n_{q}^{-7} + c_{3} \cdot n_{q}^{-6} + c_{4} \cdot n_{q}^{-4} + c_{5} \cdot n_{q}^{-3} + c_{6} \cdot n_{q}^{-2} + c_{7} \cdot n_{q}^{-2} + c_{8} \cdot n_{q}^{-1} + c_{9} \\ b_{1} &= c_{1} \cdot n_{q}^{-8} + c_{2} \cdot n_{q}^{-7} + c_{3} \cdot n_{q}^{-6} + c_{4} \cdot n_{q}^{-4} + c_{5} \cdot n_{q}^{-3} + c_{6} \cdot n_{q}^{-2} + c_{7} \cdot n_{q}^{-2} + c_{8} \cdot n_{q}^{-1} + c_{9} \\ \end{bmatrix}$ 536

 $\begin{aligned} a_2 &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \\ b_2 &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \\ a_3 &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \\ b_3 &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \\ a_4 &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \\ b_4 &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \\ w &= c_1 \cdot n_q^{-8} + c_2 \cdot n_q^{-7} + c_3 \cdot n_q^{-6} + c_4 \cdot n_q^{-4} + c_5 \cdot n_q^{-3} + c_6 \cdot n_q^{-2} + c_7 \cdot n_q^{-2} + c_8 \cdot n_q^{-1} + c_9 \end{aligned}$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 15, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	<i>C</i> ₁	<i>C</i> ₂	<i>C</i> 3	<i>C</i> 4	C5
a_0	-0.000000007491715910670	0.0000002091199311599	-0.00002490561744261	0.001649271355949260	-0.06625528487281190
a_1	-0.000000010552420263987	0.0000002881296126501	-0.00003363538470894	0.002190419745732360	-0.08695421372091220
b_1	0.000000017005212852224	-0.0000004660035178201	0.00005456116608651	-0.003559792726267500	0.14134330099473000
a_2	0.0000000010922471894073	-0.0000002985640906956	0.00003484597422847	-0.002264894468442660	0.08954685687252240
b_2	-0.000000003930166973677	0.0000001056755859092	-0.00001215839446054	0.000781681754508763	-0.03071670486874540
<i>a</i> ₃	-0.000000001214833445735	0.0000000344915483728	-0.00000418797866792	0.000283674943609533	-0.01171069210109040
b_3	0.000000002905762450021	-0.0000000794415646938	0.00000928872584457	-0.000606074541814293	0.02411168834328690
<i>a</i> 4	0.000000000898237887908	-0.000000233314630185	0.00000258067289746	-0.000158815832950063	0.00595434699964155
b_4	-0.000000005325251158750	0.0000001453112760685	-0.00001692065356855	0.001096531963795250	-0.04318969609679080
W	-0.000000001453056302934	0.0000000401292250758	-0.00000472232655328	0.000308559341052150	-0.01221380495566130
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> ₉	C_{10}
a_0	<i>C</i> ₆ 1.649038275173740	<i>C</i> ₇ -24.76603550373240	C ₈ 204.7071071755390	<i>C</i> 9 -711.4458471321500	<i>C</i> ₁₀
a_0 a_1	C ₆ 1.649038275173740 2.152897424241530	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780	C ₈ 204.7071071755390 271.9556476709870	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060	<i>C</i> ₁₀
$\begin{array}{c} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \end{array}$	C ₆ 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C6 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950 -2.202463228792380	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540 32.87429142040740	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870 -272.0556032536690	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400 955.2517556144620	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C6 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950 -2.202463228792380 0.755595348162435	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540 32.87429142040740 -11.36437220232550	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870 -272.0556032536690 95.5397852324739	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400 955.2517556144620 -343.5058680103350	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3 \end{array} $	C6 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950 -2.202463228792380 0.755595348162435 0.301412052180571	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540 32.87429142040740 -11.36437220232550 -4.71924013416871	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870 -272.0556032536690 95.5397852324739 41.0566979362727	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400 955.2517556144620 -343.5058680103350 -151.8625503481100	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3 \end{array} $	C6 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950 -2.202463228792380 0.755595348162435 0.301412052180571 -0.598292940602111	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540 32.87429142040740 -11.36437220232550 -4.71924013416871 9.03356140457960	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870 -272.0556032536690 95.5397852324739 41.0566979362727 -75.8188885722162	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400 955.2517556144620 -343.5058680103350 -151.8625503481100 270.7354853335900	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3\\ a_4 \end{array} $	C6 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950 -2.202463228792380 0.755595348162435 0.301412052180571 -0.598292940602111 -0.139534434253989	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540 32.87429142040740 -11.36437220232550 -4.71924013416871 9.03356140457960 2.00068577224751	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870 -272.0556032536690 95.5397852324739 41.0566979362727 -75.8188885722162 -16.0831758472293	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400 955.2517556144620 -343.5058680103350 -151.8625503481100 270.7354853335900 55.5696823478691	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2\\ a_3\\ b_3\\ a_4\\ b_4 \end{array} $	C6 1.649038275173740 2.152897424241530 -3.491969172977950 -2.202463228792380 0.755595348162435 0.301412052180571 -0.598292940602111 -0.139534434253989 1.057265931630640	C7 -24.76603550373240 -32.44390700103780 52.34569984559540 32.87429142040740 -11.36437220232550 -4.71924013416871 9.03356140457960 2.00068577224751 -15.68971110071670	C8 204.7071071755390 271.9556476709870 -434.7882844670870 -272.0556032536690 95.5397852324739 41.0566979362727 -75.8188885722162 -16.0831758472293 128.9466149671200	C9 -711.4458471321500 -971.1233567020060 1531.6580309777400 955.2517556144620 -343.5058680103350 -151.8625503481100 270.7354853335900 55.5696823478691 -449.3476014531690	C ₁₀

Tabela 15: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wh karakteristiku.

8.7.3 Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku u zavisnosti (zakonitosti) od nq dobijena iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab sa Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda – Varijanta 13

U daljem dijelu teksta prikazana je dobijena *Univerzalna Jednačina za Wm karakteristiku* iz numeričkog modela razvijenog u Matlab programu.

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku je predstavljena u ovom obliku, a ovo je glavna ideja:

$$W_{m,} = f(nq, \theta) \tag{99}$$

Univerzalna jednačina za Wm karakteristiku ima izgled (Furijerova funkcija 2 reda):

$$W_m = a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta \cdot w) + b_1 \cdot \sin(\theta \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 \cdot \theta \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 \cdot \theta \cdot w)$$
(100)

Koeficijenti u *Univerzalnoj jednačini za Wm karakteristiku* su izraženi koristeći Polinom 6 reda:

$$\begin{aligned} a_0 &= c_1 \cdot n_q \, {}^6 + c_2 \cdot n_q \, {}^5 + c_3 \cdot n_q \, {}^4 + c_4 \cdot n_q \, {}^3 + c_5 \cdot n_q \, {}^2 + c_6 \cdot n_q \, {}^1 + c_7 \\ a_1 &= c_1 \cdot n_q \, {}^6 + c_2 \cdot n_q \, {}^5 + c_3 \cdot n_q \, {}^4 + c_4 \cdot n_q \, {}^3 + c_5 \cdot n_q \, {}^2 + c_6 \cdot n_q \, {}^1 + c_7 \\ b_1 &= c_1 \cdot n_q \, {}^6 + c_2 \cdot n_q \, {}^5 + c_3 \cdot n_q \, {}^4 + c_4 \cdot n_q \, {}^3 + c_5 \cdot n_q \, {}^2 + c_6 \cdot n_q \, {}^1 + c_7 \\ a_2 &= c_1 \cdot n_q \, {}^6 + c_2 \cdot n_q \, {}^5 + c_3 \cdot n_q \, {}^4 + c_4 \cdot n_q \, {}^3 + c_5 \cdot n_q \, {}^2 + c_6 \cdot n_q \, {}^1 + c_7 \\ b_2 &= c_1 \cdot n_q \, {}^6 + c_2 \cdot n_q \, {}^5 + c_3 \cdot n_q \, {}^4 + c_4 \cdot n_q \, {}^3 + c_5 \cdot n_q \, {}^2 + c_6 \cdot n_q \, {}^1 + c_7 \\ w &= c_1 \cdot n_q \, {}^6 + c_2 \cdot n_q \, {}^5 + c_3 \cdot n_q \, {}^4 + c_4 \cdot n_q \, {}^3 + c_5 \cdot n_q \, {}^2 + c_6 \cdot n_q \, {}^1 + c_7 \end{aligned}$$

Koeficijenti navedeni u *Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku* imaju sledeće vrijednosti navedene u Tabeli 16, ove vrijednosti su dobijene iz razvijenog numeričkog modela u programu Matlab, na osnovu cjelokupnog postupka navedenog u prethdnom dijelu teksta:

	c_1	c_2	<i>C</i> ₃	<i>C</i> 4	C5
a_0	0.000000166764661074854	-0.00000361280412872320	0.000315826181509237	-0.01420006601425680	0.344661600855802
a_1	-0.000000024329080056508	0.000000967837775954358	-0.000127902625673005	0.00793691727028947	-0.252072151343157
b_1	0.000000075072046295815	-0.00000181239433339367	0.000177883963489826	-0.00903186574287275	0.248688633617358
a_2	-0.000000223168406026770	0.000004640553453036450	-0.000387931116614583	0.01662287981585140	-0.383478472141252
b_2	-0.000000091470997817136	0.000001929139249688860	-0.000164841787528002	0.00726905862181974	-0.173397935542602
W	0.0000000555932574850391	-0.00000120342350670100	0.000105081202115758	-0.00472444461105914	0.115038160743676
	C_6	<i>C</i> ₇	C_8	<i>C</i> 9	C_{10}
a_0	<i>C</i> ₆ -4.25705497946271	<i>C</i> ₇ 20.86120312692360	C_8	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
a_0 a_1	C ₆ -4.25705497946271 3.92651204989357	C7 20.86120312692360 -24.13448331084370	<i>C</i> ₈	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
a_0 a_1 b_1	C6 -4.25705497946271 3.92651204989357 -3.49359119179948	C7 20.86120312692360 -24.13448331084370 20.09429218921680	<i>C</i> ₈	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2 \end{array} $	C6 -4.25705497946271 3.92651204989357 -3.49359119179948 4.49825797298139	C7 20.86120312692360 -24.13448331084370 20.09429218921680 -20.71132320249870	<i>C</i> ₈	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀
$ \begin{array}{c} a_0\\ a_1\\ b_1\\ a_2\\ b_2 \end{array} $	C ₆ -4.25705497946271 3.92651204989357 -3.49359119179948 4.49825797298139 2.10543615712011	C7 20.86120312692360 -24.13448331084370 20.09429218921680 -20.71132320249870 -9.80350153749406	<i>C</i> ₈	<i>C</i> ₉	<i>C</i> ₁₀

Tabela 16: Vrijednosti koeficijenata koji su navedeni u Univerzalnoj Jednačini za Wm karakteristiku.

U (Prilogu – P16) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 13 (Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za *Wm* karakteristiku) na osnovu krivih *Wh* karakteristika i *Wm* karakteristika za šest modela radijalnih pumpi i za trinest modela radijalnih pumpnih-turbina za koje je autor ove doktorske disertacije prikupio osnovne podatke i izvršio preračunavanje. Za prethodno navedeni postupak korišćen je program Matlab, program Matlab nudi manji broj funkcija koje se mogu koristiti kao referentne krive za ovaj postupak, ali u programu Matlab postoji mogućnost da se ručno unese bilo koja funkcija sa kojom bi odradili prethodno navedeni postupak, jako važna stvar je što program Matlab omogućava da se u njemu isprogramira numerički model za Pumpne turbine i Pumpe - Varijanta 13 (Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za *Wm* karakteristiku) sa kojima se dobija Univerzalna Jednačina za *Wh* i *Wm* karakteristike, na osnovu prethodno opisanih koraka što je i cilj ove doktorske disertacije.

Rezultati razvijenog numeričkog modela za Pumpne-turbine i Pumpe - Varijanta 13 (Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku) u programu Matlab prikazani su na dijagramima na Slikama 778 i 779. I može se izvesti sledeći zaključak: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom se mogu opisati sve krive sa različitim nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq.

9. Primjena Univerzalnih Jednačina za *Wh* i *Wm* karakteristike (univerzalne zakonitosti) u proračunima prelaznih procesa na radijalnim hidrauličnim mašinama (na primjerima iz prakse) i analiza rezultata.

9. 1 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima iz Univerzalne Jednačine iz Varijante 6 - Ovaj primjer je urađen sa Polinomima 3, 3, 7 reda, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Autor ove doktorske disertacije je razvio numerički model u programu Matlab za proračun prelaznih procesa u pumpnom postrojenju gdje su instalisane dvije pumpe (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena metoda karakteristika - MOC), i kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike (za jedan model radijalne pumpe i sedam modela radijalnih pumpnih-turbina) koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq, takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristiku koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 6 - Ovaj primjer je urađen sa Polinomima 3, 3, 7 reda) za razne vrijednosti specifične brzine – nq.

Za proračun prelaznih procesa korišćena je pumpna instalacija koja je opisana u primjeru navedenom iz knjige Chaudhry, M. H. (1979): *Applied hydraulic transients* **[3]** (prikaz instalacije na Slici 780). Pumpna instalacija se sastoji od: donjeg rezervoara, dvije paralelne pumpe (koje tokom prelaznog procesa istovremeno ostaju bez napajanja energijom), ventila, izlaznog cjevovoda (koji se sastoji se od cijevi 1 i cijevi 2), nizvodnog rezervoara. Podaci za cijev 1: L_1 – dužina = 450 m, D_1 – prečnik = 0.75 m, a_1 - brzina poremećajnog talasa 900 m/s, f_1 -koeficijent trenja = 0.01, i Q_1 – protok = 0.5 m³/s. Podaci za cijev 2: L_2 – dužina = 550 m, D_2 -prečnik = 0.75 m, a_2 - brzina poremećajnog talasa 1100 m/s, f_2 - koeficijent trenja = 0.012, i Q_2 -protok = 0.5 m³/s. Podaci za pumpu (Q_R = 0.25 m³/s, H_R = 60 m, N_R = 1100 rpm, WR^2 = 16.85 kg-m², efikasnost pumpe pri nomonalnim uslovima η = 0.84). Proračun prelaznih procesa je rađen na numeričkom kodu razvijenom u Matlab programu, numerički kod je razvijen korišćenjem

graničnih uslova za paralelne pumpe. U početku obje pumpe rade u nazivnim uslovima, a uslovi prelaznog stanja su uzrokovani istovremenim nestankom snage obje pumpe. Numerički kod je razvijen korišćenjem graničnih uslova za paralelne pumpe i dijagrama toka iz knjige Chaudhry, M. H. (1979): Applied hydraulic transients **[3]**. Metoda karakteristika i granični uslovi za rezervoar i serijske spojeve je korišćena za analizu prelaznih procesa u odvodnom cjevovodu. Brzina poremećajnog talasa tokom hidrauličkog udara za različite presjeke odvodnog cjevovoda određena je pomoću jednačina predstavljenih u knjizi Chaudhry, M. H. (1979): Applied hydraulic transients **[3]**. Prilikom proračuna prelaznih procesa na navedenoj pumpnoj instalaciji, koriste se vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike koje su dobijene u modelskim ispitivanjima i iz *Univerzalne Jednačine za Wh* i *Wm* karakteristike za sedam modela radijalnih pumpnih-turbina i jedan model radijalne pumpe sa različitim specifičnim brzinama (nq = 24.8, nq = 25, nq = 27, nq = 28.6, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56). Dobijeni rezultati (promjene pritiska, protoka i brzine) na pumpi tokom proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 781, 782, 783.



Slika 780. Instalacija pumpe sa cjevovodnim sistemom.



Slika 781. Promjene pritiska, na spoju pumpe i cijevi 1.


Slika 782. Promjene protoka, na spoju pumpe i cijevi 1.



Slika 783. Promjene brzine na pumpi tokom prelaznog procesa.

Na Slici 781 dijagram prikazuje promjenu pritiska na spoju pumpe i cijevi 1. Tokom prelaznog procesa u 8 sekundi dolazi do najvećeg porasta pritiska i on varira u opsegu od 65 do 100 m.v.s. Vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike su dobijene iz modelskih ispitivanja i iz Univerzalnih Jednačina za *Wh* i *Wm* karakteristike. Iz prethodno navedenog se može zaključiti da specifične brzine (nq = 24.8, nq = 25, nq = 27, nq = 28.6, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56) imaju uticaja na promjenu porasta pritiska na pumpnoj instalaciji tokom prelaznih procesa.

Na Slici 782 prikazan je dijagram na kome su prikazane promjene protoka na spoju pumpe i cijevi 1 (posle 2.5 sekunde od početka prelaznih procesa, protok postaje reverzibilan (protok mijenja smjer) i nakon 10 sekundi od početka prelaznog procesa amplituda oscilovanja protoka je najizraženija, kao i razlika između reverzibilnih protoka navedenih modela radijalnih pumpnih-turbina i modela radijalne pumpe (varira u opsegu -0,15 m³/s do -0,4 m³/s). Posle 19 sekundi od početka prelaznog procesa amplitude oscilovanja protoka se svode na minimum i reverzibilni protoci se stabilizuju oko vrijednosti od -0,45 m³/s. Iz navedenog se može zaključiti da specifični brzine (nq = 24.8, nq = 25, nq = 27, nq = 28.6, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 50, nq =56) ima izvjestan uticaj na promjenu povećanja protoka na pumpnoj instalaciji tokom prelaznih procesa. Za sve navedene modele radijalnih pumpnih-turbina i radijalnih pumpi, u programu za hidroudar, vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike dobijene na modelskim ispitivanjima i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*, korišćeni su da bi se dobili gore navedeni rezultati.

Na Slici 783 prikazan je dijagram sa promjenom brzine rotacije u toku prelaznog procesa za navedene modele radijalnih pumpih-turbina i radijalnih pumpi. Ovi rezultati su dobijeni iz programa za hidroudar na osnovu vrijednosti karakteristika *Wh* i *Wm* (dobijenih iz modelskih ispitivanja i iz Univerzalnih Jednačina za *Wh* i *Wm* karakteristike). Posle 4.5 sekundi od početka prelaznih procesa dolazi do reverzibilnog smjera rotacije, a za 8.5 sekundi od početka prelaznog procesa najizraženija razlika je među reverzibilnim brzinama rotacije u opsegu -1.3 do -1.7 za bezdimenzionu brzinu. Poslije 19 sekundi od početka prelaznog procesa, amplituda oscilovanja reverzibilne brzine rotacije, svedena je na minimum i stabilizovana je oko vrijednosti -1.25 za bezdimenzionalnu brzinu, uz izvjesna odstupanja reverzibilne brzine rotacije među navedenim modelima radijalnih pumpnih-turbina i radijalnih pumpi u opseg od -1.1 do -1.4 bezdimenzionalne brzine. Iz navedenog se može zaključiti da specifične brzine (nq = 24.8, nq = 25, nq = 27, nq = 28.6, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56) imaju uticaja na promjenu reverzibilne brzine rotacije na pumpnoj instalaciji tokom prelaznih procesa.

Najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 781, 782, 783), za svih 8 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 8 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P17) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za osam specifičnih brzina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* (Univerzalne Jednačine iz Varijante 6 - Ovaj primjer je urađen sa Polinomima 3, 3, 7 reda).

9.2 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 7 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova model od 5 pikova za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 17, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 784. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog

numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih O_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8°) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 7 - Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine – nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53, nq =24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 30.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 43.83, nq = 43.83, nq = 10.6, nq = 10.= 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq = 25.5, nq = 28.8, nq= 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 785, 786 i 787. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_1$ (protok u cjevovodu)	0.5 m ³ /s
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod 1 – f_1 (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod 1 – D_{1p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 1 – L_1 (dužina cjevovoda)	450 m
Cjevovod 2 – Q_2 (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$
Cjevovod 2 – a_2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod 2 – f_2 (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR ²	16.85 kg•m ²

Tabela 17. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	0.25 m ³ /s



Slika 784. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 785 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 786 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 785. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 786. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 787. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 787 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu prikazanom na Slici 785, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 2 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od 4 m.v.s do 17 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 5 sekunde i 10 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 137 m.v.s do 90 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 786, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 4 sekunde i 8 sukunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima

najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.4 m³/s do - 0.75 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 9 sekunde i 13 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.7 m³/s do 0.1 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 787, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 6 sekunde i 9.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -1.25 (bezdimenziona brzina rotacije) do -2.1 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10 sekunde i 14 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10 sekunde i 14 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije ja svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -2.02 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.8 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine – nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 785, 786, 787), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P18) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (Univerzalne jednačine iz Varijante 7 – Ovaj primjere je urađen sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za *Wm* karakteristiku).

9.3 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 8 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 18, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 788. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8°) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 8 - Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine – nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53, nq =24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 30.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 43.83, nq = 43.83, nq = 10.95, nq= 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq = 25.5, nq = 28.8, nq= 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 789, 790 i 791. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_1$ (protok u cjevovodu)	0.5 m ³ /s
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod 1 – f_1 (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod 1 – D_{Ip} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 1 – L_l (dužina cjevovoda)	450 m

Tabela 18. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Cjevovod 2 – Q_2 (protok u cjevovodu)	0.5 m ³ /s
Cjevovod 2 – a2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod 2 – f_2 (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR^2	16.85 kg•m ²
Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	$0.25 \text{ m}^{3}/\text{s}$



Slika 788. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 789 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq. Na dijagramu koji je prikazan na Slici 790 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.



Slika 789. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 790. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 791 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 791. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu prikazanom na Slici 789, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 1.8 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od 5 m.v.s do 18 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 6 sekunde i 10.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Universalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 155 m.v.s do 75 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine -nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 790, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 4.5 sekunde i 8.5 sukunde od početka

prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.38 m³/s do - 0.65 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 9 sekunde i 13.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.5 m³/s do 0.08 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 791, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 6.5 sekunde i 10 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -1.3 (bezdimenziona brzina rotacije) do -2.7 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od - 2.1 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.75 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine – nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 789, 790, 791), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P19) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (*Univerzalne jednačine* iz Varijante 8 – Ovaj primjere je urađen sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wm* karakteristiku).

9.4 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 9 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 7 reda za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 19, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 792. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8°) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]: nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 9 - Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 7 reda za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine – nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53, nq = 24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 28.630.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq = 25.5, nq = 28.8, nq = 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 793, 794 i 795. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_I$ (protok u cjevovodu)	0.5 m ³ /s
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod 1 – f_1 (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod 1 – D_{Ip} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 1 – L_l (dužina cjevovoda)	450 m
Cjevovod 2 – Q_2 (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$

Tabela 19. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Cjevovod 2 – a2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod 2 – f_2 (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR^2	16.85 kg•m ²
Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	0.25 m ³ /s



Slika 792. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 793 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 794 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 793. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 794. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 795 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 795. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu prikazanom na Slici 793, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 1.9 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od -10 m.v.s do 16 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 6 sekunde i 9.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q11, n11, M11, i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 140 m.v.s do 65 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 794, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 5 sekunde i 8 sukunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.2 m³/s do - 0.63 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 9 sekunde i 13.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.3 m³/s do 0.1 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 795, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 6 sekunde i 10.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -0.55 (bezdimenziona brzina rotacije) do -1.9 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina - nq, i varira u opsegu od -0.8 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.45 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine - nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine - nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 793, 794, 795), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P20) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (*Univerzalne jednačine* iz Varijante 9 – Ovaj primjere je urađen sa Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 7 reda za *Wm* karakteristiku).

9.5 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 10 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 20, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 796. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih O_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 10 - Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine – nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq – nq = 17.53, nq = 24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 30.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 3841.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq= 25.5, nq = 28.8, nq = 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 797, 798 i 799. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_1$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod 1 – f_1 (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod 1 – D_{1p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 1 – L_1 (dužina cjevovoda)	450 m
Cjevovod $2 - Q_2$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$

Tabela 20. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Cjevovod 2 – a2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod 2 – f_2 (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR^2	16.85 kg•m ²
Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	0.25 m ³ /s



Slika 796. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 797 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 798 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 797. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 798. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 799 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 799. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu prikazanom na Slici 797, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 2 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od 8 m.v.s do 14 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 6.5 sekunde i 9.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Universalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 135 m.v.s do 75 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine -nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 798, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 5 sekunde i 7.5 sukunde od početka 561

prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.43 m³/s do - 0.67 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 8.5 sekunde i 12.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.39 m³/s do 0.09 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 799, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 7 sekunde i 9.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -1.25 (bezdimenziona brzina rotacije) do -2.3 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 9.5 sekunde i 14 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -1.8 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.75 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine – nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 797, 798, 799), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P21) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - *nq*) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (*Univerzalne jednačine* iz Varijante 10 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za *Wm* karakteristiku).

9.6 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 11 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 21, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 800. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih O_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 11 - Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine – nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq – nq = 17.53, nq = 24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 30.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 3841.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq= 25.5, nq = 28.8, nq = 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 801, 802 i 803. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_1$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod 1 – f_1 (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod 1 – D_{1p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 1 – L_1 (dužina cjevovoda)	450 m
Cjevovod $2 - Q_2$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$

Tabela 21. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Cjevovod 2 – a2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod 2 – f_2 (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR^2	16.85 kg•m ²
Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	0.25 m ³ /s



Slika 800. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 801 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 802 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 801. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 802. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 803 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.



Slika 803. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu prikazanom na Slici 801, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 2.1 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od 6 m.v.s do 13 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 7 sekunde i 10 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Universalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 120 m.v.s do 74 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 802, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 5.5 sekunde i 8 sukunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.42 m³/s do - 0.63 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 8 sekunde i 13 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.48 m³/s do 0.08 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 803, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 7.5 sekunde i 9 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -1.3 (bezdimenziona brzina rotacije) do -2.23 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10 sekunde i 13.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -1.7 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.8 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine – nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 801, 802, 803), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P22) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (*Univerzalne jednačine* iz Varijante 11 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za *Wm* karakteristiku).

9.7 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 12 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 22, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 804. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih Q_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8°) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 12 - Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda - Gausov model od 3 pika za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine -nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53, nq = 24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 28.630.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 41.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq = 25.5, nq = 28.8, nq = 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 805, 806 i 807. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_1$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod 1 – f_1 (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod 1 – D_{Ip} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 1 – L_l (dužina cjevovoda)	450 m
Cjevovod 2 – Q_2 (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$

Tabela 22. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Cjevovod 2 – a2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod 2 – f_2 (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR^2	16.85 kg•m ²
Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	0.25 m ³ /s



Slika 804. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 805 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 806 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 805. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 806. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 807 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 807. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu prikazanom na Slici 805, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 2.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 specicfičnih brzina - ng ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od 6.5 m.v.s do 14 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 6.5 sekunde i 9.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q11, n11, M11, i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 140 m.v.s do 85 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 806, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 6 sekunde i 7.5 sukunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.47 m³/s do - 0.65 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 8.5 sekunde i 13.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.51 m³/s do 0.11 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 807, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 7 sekunde i 9.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -1.25 (bezdimenziona brzina rotacije) do -2.05 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10.5 sekunde i 14 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -1.3 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.75 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine – nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 805, 806, 807), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P23) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - nq) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (*Univerzalne jednačine* iz Varijante 12 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za *Wm* karakteristiku).

9.8 Analiza uticaja specifične brzine (nq) na rezultate dobijene proračunom prelaznih procesa na pumpnoj instalaciji (vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene modelskim ispitivanjima i iz Univerzalne jednačine iz Varijante 13 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku, koriste se u razvijenom numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznih procesa).

Za proračun prelaznih procesa koristi se pumpno postrojenje u kojem su instalisane dvije pumpe, kompletni tehnički podaci ovog postrojenja su navedeni u Tabeli 23, šematski prikaz ovog pumpnog postrojenja je prikazan na Slici 808. Podaci za ovo pumpno postrojenje su preuzeti iz knjige – Chaudhry, M. H. (1979) - *Applied hydraulic transients* [3].

Proračun prelaznih procesa koji se odvijaju u ovom pumpnom postrojenju (gdje su instalisane dvije pumpe) tokom rasterećivanja opterećenja sa pumpe izvršeno je u numeričkom modelu koji je razvio autor ove doktorske disertacije u programu Matlab (za razvijanje ovog numeričkog modela je korišćena je metoda karakteristika - MOC). Kao ulazne podatke u ovom numeričkom modelu autor je koristio podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunajvanjem modelskih krivih O_{11} , n_{11} , M_{11} za različite vrijednosti specifične brzine – nq(12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq - nq = 17.53 (otvor - 26.8 °) – Kina; nq =24.8 (otvor – 26 mm) – U.S.A; nq = 26.24 (otvor – 17.5°) – Kina; nq = 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) – Kina; nq = 38 (otvor - 24°) – Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) - Austrija; nq = 43.83 $(otvor - 28 \text{ mm}) - \text{Rusija}; nq = 50 (otvor - 20.03^{\circ}) - \text{Kina}; nq = 56 (otvor - 40 \text{ mm}) - \text{Kina}; i pet$ modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7 [5]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3[5]; nq = 37.4 [7], dobijene iz radova Brown RJ, Rogers DC 1980 [5]; Kittredge CP 1956 [7]), takođe kao ulazni podaci u ovom numeričkom modelu autor koristi podatke za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike (iz Varijante 13 - Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku) za razne vrijednosti specifične brzine – nq (12 modela radijalnih pumpnih-turbina sa sledećim nq – nq = 17.53, nq = 24.8, nq = 26.24, nq = 27, nq = 28.6, nq = 30.95, nq = 35.89, nq = 38, nq = 3841.6, nq = 43.83, nq = 50, nq = 56; i pet modela radijalnih pumpi sa sledećim nq - nq = 15.7, nq= 25.5, nq = 28.8, nq = 30.3, nq = 37.4).

Rezultati proračuna prelaznih procesa prikazani su na dijagramima na Slikama 809, 810 i 811. Na ovim dijagramima prikazane su promjene pada, protoka, brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina – nq.

Cijevovod $1 - Q_I$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$
Cijevovod 1 – a_1 (brzina poremećajnog	
talasa)	900 m/s
Cjevovod $1 - f_I$ (koeficijent trenja)	0.01
Cjevovod $1 - D_{1p}$ (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod $1 - L_1$ (dužina cjevovoda)	450 m
Cjevovod $2 - Q_2$ (protok u cjevovodu)	$0.5 \text{ m}^{3}/\text{s}$

Tabela 23. Tehničke karakteristike komponenti pumpnog postrojenja.

Cjevovod 2 – a2 (brzina poremećajnog	
talasa)	1100 m/s
Cjevovod $2 - f_2$ (koeficijent trenja)	0.012
Cjevovod 2 – D_{2p} (prečnik cjevovoda)	0.75 m
Cjevovod 2 – L_2 (dužina cjevovoda)	550 m
Stepen efikasnosti pumpe - η	0.84
Moment inercije pumpe - WR^2	16.85 kg•m ²
Nominalna brzina rotacije pumpe – n^*	1100 rpm
Nominalni pad na pumpi – H^*	60 m
Nominlani protok na pumpi – Q^*	0.25 m ³ /s



Slika 808. Šematski prikaz komponenti pumpnog postrojenja.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 809 prikazana je promjena pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 810 prikazana je promjena protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 809. Prikaz promjene pada tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 810. Prikaz promjene protoka tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1), i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.

Na dijagramu koji je prikazan na Slici 811 prikazana je promjena brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1), i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - *nq*.



Slika 811. Prikaz promjene brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i poređenje dobijenih rezultata za 17 različitih specifičnih brzina - nq.

Na dijagramu prikazanom na Slici 809, vidi se da do pada pritiska na konekcijipresjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi nakon 2.7 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i da za svih 17 speciefičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od 7.5 m.v.s do 15 m.v.s. Dok maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 7 sekunde i 10 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq (za svaki od 17 specifičnih brzina -nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa), i variraju u opsegu od 115 m.v.s do 73 m.v.s, i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine -nq na promjenu pritiska na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju i jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.
Na dijagramu prikazanom na Slici 810, vidi se da do pada protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 5.5 sekunde i 8 sukunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu protok ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost pritiska na konekciji-presjeku izmuđu pumpe i cjevovoda 1 ima približno vrijednosti u granicama od - 0.41 m³/s do - 0.69 m³/s. Dok maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 dolazi u intervalu između 9 sekunde i 13 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1 ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -0.53 m³/s do 0.07 m³/s, i u ovom dijelu jasno je izražen uticaj specifične brzine – nq na promjenu protoka na konekciji-presjeku između pumpe i cjevovoda 1, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije je da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Na dijagramu prikazanom na Slici 811, vidi se da do pada brzine rotacije (bezdimenziona brzina rotacije) na pumpi dolazi u intervalu između 7.5 sekunde i 10 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i u ovom vremenskom intervalu brzina rotacije pumpe ima najmanju vrijednost, i da za svih 17 specicfičnih brzina - nq ova minimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti i one variraju u ospegu od -1.28 (bezdimenziona brzina rotacije) do -2.20 (bezdimenziona brzina rotacije). Dok maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi dolazi u intervalu između 10 sekunde i 14.5 sekunde od početka prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i ova maksimalna vrijednost brzine rotacije na pumpi ima različite vrijednosti za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, i varira u opsegu od -1.7 (bezdimenziona brzina rotacije) do -0.80 (bezdimenziona brzina rotacije), i u ovom dijelu je jasno izražen uticaj of specifične brzine – nq na promjenu brzine rotacije na pumpi, tokom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju jedan od glavnih ciljeva ove doktorske disertacije da se prikaže koliki je uticaj specifične brzine – nq na prelazne procese na pumpnom postrojenju.

Takođe najvažniji cilj ove doktorske disertacije je da se pokaže koliko se dobro poklapaju rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na pumpnom postrojenju (kada su svi dobijeni rezultati zajedno prikazani na dijagramima na Slikama 809, 810, 811), za svih 17 specifičnih brzina – nq, (za svaki od 17 specifičnih brzina – nq, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike, i zatim su svi ovi podaci za Wh i Wm karakteristike korišteni kao ulazni podaci u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa na ovom pumpnom postrojenju).

U (Prilogu – P24) ove doktorske disertacije nalazi se kod razvijenog numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, kao ulazni podaci su korištene vrijednosti za *Wh* i *Wm* karakteristike, (za sedamnest specifičnih brzina - *nq*) koje su dobijene preračunavanjem modelskih četvorokvadrantnih karakteristika Q_{11} , n_{11} , M_{11} , i iz *Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike* - (*Univerzalne jednačine* iz Varijante 13 – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za *Wh* karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za *Wm* karakteristiku).

10. Uticaj specifične brzine pumpe-turbine na hidraulične prelazne procese

10.1 Opis PSP Bajina Bašta

Prvi agregat na PSP Bajina Bašta, koja se nalazi u Srbiji, pušten je u rad Juna 1980. godine; u to vrijeme ova PSP je imala najveći pad na svijetu od 600 m. Bajina Bašta je akumulaciono-derivatno postrojenje čiji se gornji rezervoar nalazi u planini Tari, a donji rezervoar je rijeci Drini, koja je akumulacioni izvor za PSP Bajina Bašta. Veza između gornjeg i donjeg rezervoara je ostvarena cjevovodnim sistemom, a mašinska hala je opremljena sa dvije pumpe-turbine. Sistem cjevovoda se sastoji od sledećih komponenti: gornje ulazno-izlazne građevine, smještene u gornjem rezervoaru; tunel dug 8 km (prečnika 6,3 m) koji povezuje gornji rezervoar sa gornjim cjevovodom; vodostana visine 141 m; zatvarača na cjevovodu; podzemnog gornjeg dijela cjevovoda (sastoji se od kosog dijela dužine 738 m i prečnika 4,8 m nagnutog pod uglom od 45° i horizontalnog dijela dužine 635 m i prečnika 4,2 m) koji povezuje gornji rezervoar sa pumpnim turbinama i mašinskom zgradom; donji cjevovod (314 m dužine i 7 m u prečniku) djelimično je smješten pod zemljom, a dijelom prolazi kroz postojeću branu, donji cjevovod povezuje mašinsku zgradu sa donjom izlazno-ulaznom građevinom; i donju izlazno-ulaznu građevina koja se nalazi u donjem rezervoaru PSP na uzvodnoj padini postojeće betonske brane HE Bajina Bašta. Sve gore navedene komponente su prikazane na Slici 812.

Prema osnovnim tehničkim podacima PSP Bajina Bašta, postrojenje ima ukupnu instalisanu snagu od 630 MW (dva agregata po 315 MW), prosečnu godišnju proizvodnju od 1070 GWh, korisnu zapreminu akumulacije 150x10⁶ m³, maksimalni neto pad od 600 m, I instalisani protok 126 m³/s.



Slika 812. PSP Bajina Basta - dispozicija sistema.

10.2 4Q Karakteristike predstavljene sa Wh i Wm Suterovim krivima za tri modela pumpnihturbina nq = 27, nq = 38 i nq = 50

Krive performansi koje odgovaraju za 3 specifične brzine pumpnih-turbina korišćene su u ovom dijelu doktorske disertacije. Suterove krive prikazane na Slikama 813, 814, 815, 816, 817 i 818 su dobijene pretvaranjem 4Q karakteristika Q_{11} , n_{11} i M_{11} (za različite otvore lopatica sprovodnog aparata) i 4Q karakteristike Q_{11} , n_{11} i M_{11} zasnivaju se na podacima dobijenim na laboratorijskih ispitivanja modela. Kompletan postupak preračunavanja podataka je predstavljen u prethodnim poglavljima ove doktorske disertacije, gdje su Wh i Wm Suterove krive takođe predstavljene za šesnaest modela pumpe-turbine i dvadeset i jednog modela pumpe. Opisi



laboratorijskih ispitivanja modela i metoda za dobijanje 4Q karakteristika Q_{11} , n_{11} i M_{11} mogu se vidjeti takođe u prethodnim poglavljima ove doktorske disertacije.

Slika 813. *Wh* Suterova kriva za pumpu-turbinu nq = 27 na PSP Bajina Bašta.



Slika 814. Wm Suterova kriva za pumpu-turbinu nq=27 na PSP Bajina Bašta.



Slika 815. Wh Suterova kriva za pumpu-turbinu nq=38 – PSP Kina.



Slika 816. Wm Suterova kriva za pumpu-turbinu nq=38 – PSP Kina.



Slika 817. Wh Suterova kriva za pumpu-turbinu nq=50 – PSP Kina.



Slika 818. Wm Suterova kriva za pumpu-turbinu nq=50 – PSP Kina.

10.3 Diskusija o uticaju specifične brzine na prelazne procese na PSP Bajina Bašta

Prikazani su rezultati proračuna prelaznih procesa na dvije pumpne turbine instalisane na PSP Bajina Bašta za istovremeno rasterećivanje opterećenja – i to pumpne turbine 1 sa snage 281 MW (iz turbinskog radnog režima) i pumpne turbine 2 snage 284 MW (iz turbinskog radnog režima) (snage su mjerene nakon izvršenja rasterećivanja stvarnog opterećenja). Za nq = 27(originalna specifična brzina pumpe-turbine na PSP Bajina Bašta), rezultati dobijeni iz proračuna prelaznih procesa se mogu uporediti sa rezultatima dobijenim tokom mjerenja na sajtu PSP Bajina Bašta, dok se za nq = 38 i nq = 50 mogu prikazati samo rezultati dobijeni iz proračuna prelaznih procesa. U Tabeli 24 prikazani su osnovni podaci za analizirane pumpne-turbine.

n_q (-)	27	38	50
D_r (m)	4.82	4.86	5.259
$Qr (m^3/s)$	63.1	96.3	176.1
Hr (m)	554.3	447	195
<i>n</i> (rpm)	428.6	375	250
Pr (MW)	294	382.7	306

10.4 Izračunate performanse karakteristika i njihovo fizičko ponašanje

Na Slici 819 prikazane su krive promjene pada u spiralnim kućištima pupmnih-turbina 1 i 2 dobijene proračunom prelaznih procesa za sve tri specifične brzine; podaci sa mjerenja koja su izvedena na sajtu PSP Baina Basta za specifičnu brzinu nq = 27 su takođe prikazana za poređenje. Pored krivih četvorokvadrantnih karakteristika u pojedinim zonama rada pupmneturbine, uticaji specifične brzine se ogledaju u različitim vrijednsorima pikova koji su prikazani na Slici 819. Na primjer, za pumpnu-turbinu 1 u intervalu od 7 do 11 sekundi, izmjeren je maksimalni pritisak od 825 m za nq = 27, dok su maksimalni pritisci od 940 m, 1175 m i 1025 m izračunati za nq = 27, nq = 38, i nq = 50, respektivno. Za pumpnu-turbinu 2 u intervalu od 7 do 11 sekundi, izmjeren je maksimalni pritisak od 840 m za nq = 27, dok su maksimalni pritisci od 943 m, 1085 m i 1010 m izračunati za nq = 27, nq = 38 i nq = 50, respektivno.



Slika 819. Promjena pritiska u spiralnom kućištu PSP Bajina Bašta prelazni proces (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) vrijednosti dobijene mjerenjem i proračunom za nq = 27, vrijednosti dobijene samo proračunom za nq = 38 i nq = 50.



Slika 820. Promjena protoka na PSP Bajina Bašta prelazni proces (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW); vrijednosti dobijene proračunom za nq = 27, nq = 38 i nq = 50.

Na Slici 820 prikazane su krive promjene protoka na pumpnim-turbinama 1 i 2 izračunate pod istim uslovima rasterećenja opterećenja. Za pumpnu-turbinu 1 u intervalu od 7 do 11 sekundi, za nq = 27, protok mijenja smjer i dolazi do pojave reverznog protoka (radna tačka se pomjera iz zone turbinskog radnog režima u zonu reverzne pumpe) i dostiže maksimum -31 m³/s u zoni reverzne pumpe, što dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine; za nq = 38, protok takođe mijenja smjer (iz zone turbinskog radnog režima u zonu reverzne pumpe) i dostiže maksimum -32 m³/s u zoni reverzne pumpe, što takođe dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine; za nq = 50, protok takođe mijenja pravac i dostiže maksimum -20 m³/s u zoni reverzne pumpe, što opet dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine. Za pumpnu-turbinu 2 u intervalu od 7 do 11 sekundi, za nq = 27, protok mijenja smjer (iz zone turbinskog radnog režima u zonu reverzne pumpe) i dostiže maksimum -23 m³/s u zoni reverzne pumpe, što dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine 2; za nq = 38, protok na sličan način mijenja smjer (iz zone turbinskog radnog režima u zonu reverzne pumpe) i dostiže maksimum -24 m³/s u zoni reverzne pumpe, što takođe dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine 2; za nq = 50, protok mijenja smjer (iz zone turbinskog radnog režima u zonu reverzne pumpe) i dostiže maksimum -12 m³/s u zoni reverzne pumpe, što opet dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine 2; za nq = 50, protok mijenja smjer (iz zone turbinskog radnog režima u zonu reverzne pumpe) i dostiže maksimum -12 m³/s u zoni reverzne pumpe, što opet dovodi do nestabilnosti pumpne-turbine 2.

Na Slici 821 prikazane su krive otvora lopatica sprovodnog aparata za pumpne-turbine 1 i 2 dobijene proračunom prelaznih procesa za nq = 27, nq = 38, nq = 50, i krive dobijene na merenjima na sajtu PSP Bajina Bašta za nq = 27. Za nq = 27, krive otvora lopatica sprovdnog aparata za obje pumpne-turbine su dobijene i proračunima prelaznih procesa i merenjima na sajtu PSP Bajina Bašta, dok su za nq = 38 i nq = 50 krive otvaranja lopatica sprovodnog aparata za obje pumpne-turbine dobijeni su samo proračunom prelaznih procesa. Krive otvora lopatica sprovodnog aparata za obje pumpne-turbine izračunate za nq = 27, nq = 38 i nq = 50 malo se razlikuju od krivih koje su dobijene na mjerenjima na sajtu PSP Bajina Bašta za otvore lopatica aprovodnog aparata za nq = 27. Prikazani trendovi zatvaranja lopatica sprovodnog aparata za pumpne-turbine 1 i 2 za nq = 27, nq = 38 i nq = 50 se sastoje od tri koraka: prvi korak je smanjenje otvorenosti lopatica sprovodnog aparata od 60-10 %, a treći korak je smanjenje otvorenosti lopatica sprovodnog aparata od 10 % do 0 %. Ukupno vrijeme zatvaranja lopatica sprovodnog aparata za završetak sva tri koraka je 42 sekunde.





(istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpneturbine 2 sa snage 284 MW) vrijednosti dobijene mjerenjem i proračunom za nq = 27, vrijednosti dobijene samo proračunom za, nq = 38 i nq = 50.

Na Slici 822 prikazane su krive promjene brzine rotacije pumpne-turbine 1 i 2 dobijene iz proračuna prelaznih procesa za nq = 27, nq = 38, nq = 50, i krive promjene brzine rotacije pumpne-turbine 1 i 2 dobijene na merenjima na sajtu PSP Bajina Bašta za nq = 27. Za pumpnu-turbinu 1 u intervalu od 7 do 11 sekundi, za nq = 27, maksimalna izmjerena brzina rotacije bila je 575 °/min, dok su maksimalne izračunate brzine rotacije bile 608 °/min, 697 °/min i 702 °/min

za nq = 27 za nq = 38, odnosno nq = 50. Za pumpnu-turbinu 2 u intervalu od 7 do 11 sekundi, za nq = 27, maksimalna izmjerena brzina rotacije bila je 577 o/min, dok su maksimalne izračunate brzine rotacije bile 619 °/min, 678 °/min i 699 °/min za nq = 27, nq = 38, odnosno nq = 50.



Slika 822. Promjena brzine rotacije na PSP Bajina Bašta prelazni proces (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) vrijednosti dobijene mjerenjem i proračunom za nq = 27, vrijednosti dobijene samo proračunom za, nq = 38 i nq = 50.



Slika 823. Promjena pritiska u sifonu na PSP Bajina Bašta prelazni proces (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) vrijednosti dobijene mjerenjem i proračunom za nq = 27, vrijednosti dobijene samo proračunom za nq = 38 i nq = 50.

Na Slici 823 prikazane su krive promjene pritiska unutar sifona pumpne-turbine 1 i 2, dobijene proračunom prelaznih procesa za nq = 27, nq = 38 i nq = 50, dok mjerenja promjene pritiska unutar sifona za pumpne-turbine 1 i 2 na sajtu PSP Bajina Bašta za nq = 27 nijesu izvedena. Za pumpnu-turbinu 1 u intervalu od 7 do 11 sekundi, minimalni izračunati pritisci su bili 20 m, - 40 m, a - 34 m za nq = 27, nq = 38 i nq = 50, respektivno. Za pumpnu-turbinu 2 u

intervalu od 7 do 11 sekundi, minimalni izračunati pritisci su bili 0.5 m, - 50 m i - 15 m za nq = 27, nq = 38 i nq = 50, respektivno.

U prethodnom dijelu teksta opisani su rezultati dobijeni tokom prelaznih procesa i jasno pokazuju uticaje različitih specifičnih brzina (nq) na varijacije u pritisku unutar spiralnog kućišta, pritisku unutar sifona, brzini rotacije i protoka.

10.5 Putanja-trajektorija radne tačke tokom prelaznih procesa i diskusija o režimima rada

Putanja-trajektorija radnih tačaka pumpne-turbine 1 i pumpne-turbine 2 za nq = 27 tokom prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW – iz turbinskog radnog režima i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW – iz turbinskog radnog režima) prikazani su na Slikama 824 i 825. Prelazni proces počinje u zoni turbinskog radnog režima; zatim, za obje pumpne-turbine 1 i 2, radna tačka se kreće kroz zonu turbinskog radnog režima i zatim ulazi i kreće se unutar zone reverzne pumpe, što znači da će doći do nestabilnosti tokom rada pumpne-turbine 1 i 2 u ovoj zoni. Za pumpnu-turbinu 1 radna tačka dostiže svoj najudaljeniji položaj ($Q_{11}/Q_{11o} = 0.56$, $n_{11}/n_{11o} = -1.19$) za 8,9 sekundi, dok pumpna-turbina 2 dostiže svoj najudaljeniji položaj ($Q_{11}/Q_{11o} = 0.38$, $n_{11}/n_{11o} = -1.11$) za 10.3 sekunde.



Slika 824. Trajektorije radne tačke pumpne-turbine 1 na PSP Bajina Bašta u toku prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) rezultati proračuna za nq = 27.



Slika 825. Trajektorije radne tačke pumpne-turbine 2 na PSP Bajina Bašta u toku prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) rezultati proračuna za nq = 27.



Slika 826. Trajektorije radne tačke pumpne-turbine 1 na PSP Bajina Bašta u toku prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) rezultati proračuna za nq = 38.



Slika 827. Trajektorije radne tačke pumpne-turbine 2 na PSP Bajina Bašta u toku prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne turbine 2 sa snage 284 MW) rezultati proračuna za nq = 38.

Na Slikama 826 i 827 prikazane su putanje-trajektorije radnih tačaka pumpne-turbine 1 i 2 tokom prelaznog procesa za nq = 38. Za obje pumpne-turbine radne tačke tokom prelaznog procesa počinju svoju putanju iz zone turbinskog radnog režima. Za pumpnu-turbinu 1, radna tačka se kreće kroz zonu turbinskog radnog režima, a zatim ulazi u zonu reverzne pumpe, za 10.1 sekundi radna tačka dostiže svoj najudaljeniji položaj ($Q_{11}/Q_{11o} = 0.57$, $n_{11}/n_{11o} = -1.37$) u zoni reverzne pumpe, što dovodi do nestabilnog rada pumpne-turbine 1. Slično, za pumpnu-turbinu 2, radna tačka se kreće kroz zonu turbinskog radnog režima, a zatim ulazi u zonu reverzne pumpe, za 11.5 sekundi radna tačka dostiže svoj najudaljeniji položaj ($Q_{11}/Q_{11o} = 0.42$, $n_{11}/n_{11o} = -1.23$) u zoni reverzne pumpe, što dovodi do nestabilnosti tokom rada pumpne-turbine 2.

Na Slikama 828 i 829 prikazane su putanje-trajektorije radnih tačaka pumpne-turbine 1 i 2 tokom prelaznog procesa za nq = 50, za koje radne tačke takođe počinju svoju putanju u zoni turbinskog radnog režima. Isti trendovi kretanja mogu se primijetiti za obje radne tačke, ali one pokazuju različite vršne tačke (tačke pika) u zoni reverzne pumpe, za pumpnu-turbinu 1, vrhunac se postiže za 10,72 sekundi na njenoj najudaljenijoj poziciji ($Q_{11}/Q_{11o} = 0.37$, $n_{11}/n_{11o} = -1.38$), dok se za pumpnu-turbinu 2 vrhunac dostiže za 11.8 sekundi ($Q_{11}/Q_{11o} = 0.23$, $n_{11}/n_{11o} = -1.26$), što dovodi do nestabilnog rada bilo koju od ove dvije pumpne-turbine.



Slika 828. Trajektorije radne tačke pumpne-turbine 1 na PSP Bajina Bašta u toku prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) rezultati proračuna za nq = 50.



Slika 829. Trajektorije radne tačke pumpne-turbine 2 na PSP Bajina Bašta u toku prelaznog procesa (istovremeno rasterećivanje opterećenja sa pumpne-turbine 1 sa snage 281 MW i pumpne-turbine 2 sa snage 284 MW) rezultati proračuna za nq = 50.

Tokom analiziranog prelaznog procesa u trajanju od 42 sekunde, obje radne tačke se kreću kroz zonu turbinskog radnog režima, ulaze i ostaju neko vrijeme u zoni reverzne pumpe, a zatim ponovo ulaze u zonu turbinskog radnog režima, konačno, kada je protok jednako nuli, radne tačke se kreću duž ose - n_{11}/n_{11o} sve dok se pumpna-turbina ne zaustavi, pumpna-turbina se zaustavlja u momentu kada radna tačka stigne u nultu tačku koordinatnog sistema n_{11}/n_{11o} - Q_{11}/Q_{11o} . Značajni uticaji specifične brzine mogu se vidjeti iz prikazanih dijagrama.

10.6 Numerička i eksperimentalna nesigurnost

Na Slikama 819, 820, 821, 822, 823 prikazana su poređenja između izmjerenih i izračunatih rezultata za PSP Bajina Bašta za slučaj istovremenog rasterećivanja opterećenja sa obje pumpne-turbine. Rezultati dobijeni proračunom prelaznih procesa na dvije pumpne-turbine su potvrđeni sa rezultatima dobijenim na mjerenjima na sajtu PSP Bajina Bašta. Međutim, poređenje između izmjerenih i izračunatih rezultata ometaju nesigurnosti povezane sa mjerenjima na sajtu PSP Bajina Bašta. Uobičajeni problem je to što u sistemima koji su napunjeni vodom je nepoznato koliko je vazduha zarobljeno na određenim lokacijama u sistemu. Tokom prelaznog procesa, u zonama niskog pritiska, ovi rastvoreni gasovi mogu da evoluiraju, kada se ispuštaju male količine gasa, brzina poremećajnog talasa je veoma pogođena, a ova pojava ima značajan uticaj na vrijeme i promjenu veličinine pritiska. U mnogim slučajevima tokom ispada iz pogona turbomašine, stvarne četvorokvadrantne karakteristike pumpne-turbine, nijesu poznate u svim radnim zonama turbomašine. Pošto je kompjuterska simulacija prelaznih procesa izvršena u nedostatku svih navedenih parametara, teško je očekivati da će se izračunati podaci tačno poklapati sa podacima koji su izmjereni na sajtu PSP Bajina Bašta, jer mora postojati neka greška [4]. Prilikom mjerenja na sajtu pumpno akumulacionih hidrolektrana merenja glavnih parametara turbomašine (promjene pritisak u spiralnom kućištu i sifonu, protoka i brzine rotacije), očekivana greška je između 1% i 2%. Kao što je prikazano u [57], greške koje se mofu pojaviti tokom mjerenja na sajtu hidrolektrana su ± 1.2 % za efikasnost turbine, 0.866 % za snagu turbine, 0.10 % za vrijednost pada na turbini ili specifičnu energiju, i \pm 0.822 % za protok na turbini.

10.7 Zaključak

U ovom dijelu doktorske disertacije su prikazane i analizirane 4Q Suterove krive za tri modela pumpnih-turbina sa specifičnim brzinama nq = 27, nq = 38 i nq = 50, jedan od ovih modela je već istražen u postojećoj publikaciji, dok se druga dva modela ovdje procenjuju po prvi put. Ove krive se koriste kao ulazni podaci za numerički kod za izračunavanje prelaznih procesa. Rezultati proračuna za PSP Bajina Bašta (promjena pritiska u spiralnom kućištu, promjena protoka, promjena brzine rotacije i promjena pritiska u sifona) su međusobno upoređeni, otkrivajući značajnu razliku između rezultata za različite specifične brzine. Zaključak je da različite specifične brzine imaju značajan uticaj na prelazne procese pumpnih-turbina na osnovu rezultata proračuna.

Takođe, važan doprinos ove doktorske disertacije je detaljna analiza putanje radne tačke za sva tri modela pumpnih-turbina tokom prelaznog procesa. Radna tačka se kreće iz zone turbine (III) u zonu reverzne pumpe (IV), dok su u tom periodu pumpne-turbine radile po dijelu karakteristične krive gdje je ova kriva u obliku slova *S*. To je dovelo do poteškoća tokom procesa rasterećivanja opterećenja koje se manifestovalo neuobičajenim povećanjem pritiska vode, kao i povećanjem vibracija mašine, ugrožavajući stabilnost mašine. Analiza, koja je prvi put sprovedena u ovoj doktorskoj disertaciji, kvantitativno je otkrila negativan uticaj specifične

brzine nq na ovakvo ponašanje mašine. Dodatno, na osnovu putanji-trajektorija radnih tačaka za sva tri modela pumpnih-turbina 1 i 2 (nastalih iz prethodno navedenih rezultata proračuna prelaznih procesa na pumpnim-turbinama), pumpne-turbine 1 i 2 ulaze u nestabilnu zonu tokom prelaznih procesa, što nije dobro za njihov bezbjedan rad. Rezultati sprovedeni u ovoj doktorskoj disertaciji biće korisni projektantima pumpno-akumulacionih postrojenja, omogućavajući im da unaprijede izbor radnih kola odgovarajuće specifične brzine nq.

U (Prilogu – P25) ove doktorske disertacije nalazi se kod numeričkog modela sa kojim je izvršen proračun prelaznih procesa na pumpnim-turbinama 1 i 2 PSP Bajina Bašta.

11. Zaključci iz istraživanja tokom izrade doktorske disertacije.

Nakon svega prethodno navedenog mogu se izvesti sledeći zaključci iz istraživanaj koja je autor uradio tokom izrade doktorske disertacije:

- Autor je pregledao i izanalizirao svjetsku literaturu (knjige i radove) u kojima su objavljene Suterove krive kao i izvorne Četvorokvadrantne krive određenog broja modela pumpi i pumpnih -turbina kao i postupci i obrasci po kojima su izvršena preračunavanja Četvorokvadrantnih krivih u Suterove krive. Izvršio je analizu navedenih postupaka preračunavanja podataka, i na osnovu poređenja uočio razlike između navedenih postupaka, kao i dobijenih rezultata.

- Autor je pregledao i izvršio analizu eksperimentalnih određivanja Četvorokvadrantnih krivih karakteristika (N_{11} , Q_{11} , M_{11}) koja je obavio u laboratorijama sa instalacijama pumpnih-turbina u Beču – Austrija (Institute for Energy Systems and Thermodynamics - Vienna University of Technology) i Wuhan – Kina (State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science – Wuhan University, P.R.China). Rezultati navedenih eksperimentalnih određivanja Četvorokvadrantnih krivih karakteristika su osnova za izradu ove doktorske disertacije.

- Autor je izvršio dio analize podataka tj. dio istraživanja koji je već objavljen. Takođe je izvršio (metoda) dobijanja Suterovih krivih iz poznatih analizu postupaka (izmjerenih) Četvorokvadrantnih dijagrama. Autor je naveo slikovit prikaz: putanje prelaska sa vrijednosti $H/H^* - Q/Q^*$ na vrijednosti Suterovih krivih $Wh-\theta$; putanje prelaska sa vrijednosti $M/M^* - Q/Q^*$ na vrijednosti Suterovih krivih $Wm-\theta$; putanje prelaska sa vrijednosti n_{11} - M_{11} na vrijednosti $M/M^* - Q/Q^*$, a zatim na vrijednosti Suterovih krivih $Wm-\theta$; putanje prelaska sa vrijednosti n_{11} - Q_{11} na vrijednosti H/H^* - Q/Q^* , a zatim na vrijednosti Suterovih krivih $Wh-\theta$. Autor je izanalizirao nevedene postupke i objasnio razlike između navedenih postupaka. Izvršio je očitavanje podataka sa dijagrama $(H/H^*-Q/Q^*)$ i $(M/M^*-Q/Q^*)$ sa krivima za razne procentualne pozitivne i negativne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 25, preuzeti iz knjige Stepanoff, A.J. (1959) - Radial – und Axialpumpen, i izvršio preračunavanje navedenih krivih u Suterove krive. I došao do zaključka da se Suterove krive Wh i Wm navedene u knjizi Wylie, E.B. & Streeter, V.L. (1993) - Fluid Transients in Systems, poklapaju sa Suterovima krivima Wh i Wm koje sam dobio preračunavanjem krivih ($H/H^*-Q/Q^*$) i ($M/M^*-Q/Q^*$) za razne procentualne pozitivne i negativne vrijednosti (n/n^*) za pumpu nq = 25, iz knjige Stepanoff, A.J. (1959) - Radial – und Axialpumpen.

- Autor je uradio istraživanje analitičke veze u podacima za radne krive date u jednom kvadrantu (pumpe), iz klasične literature - Stepanoff, A. J. (1957), Pfleiderer, C. (1961)). Prvo je iz knjige od autora Stepanoff, A. J. (1957) - *Radial and Axial pump*, očitao podatke sa originalnog dijagrama za sedam modela pumpi (krive 1 (nq = 12.32), 2 (nq = 20.53), 3 (nq

30.11), 4 (nq = 41.07), 5 (nq = 54.76), 6 (nq = 110.35), 7 (nq = 178.15)), a zatim je iz knjige od autora Pfleiderer, C. (1961) - Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, očitao podatke sa originalnog dijagrama za pet modela pumpi (krive b (nq = 21), c (nq = 34), d (nq = 71), e (nq = 71)110), f(nq = 220)), krive navedene u knjigama od ovih autora su samo za pumpni režim da bi se utvrdile zakonitosti na njima, korišćenjem postupka peglanja metodom polinomalne regresije. U programu Matlab na osnovu podataka sedam krivih za sedam modela pumpi iz knjige od autora Stepanoff, A.J. (1957), razvijeni su numerički modeli postupkom polinomalne regresije, za dobijanje Univerzalne Krive, za analizu postojanja opštije zakonitosti u obliku dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine obrtanja - ng. Takođe u odvojenom postupku u programu Matlab na osnovu podataka pet krivih za pet modela pumpi iz knjige od autora Pfleiderer, C. (1961), razvijeni su numerički modeli postupkom polinomalne regresije, za dobijanje Univerzalne Krive, za analizu postojanja opštije zakonitosti u obliku dobijenih krivih u zavisnosti od specifične brzine obrtanja - nq. Na osnovu dobijenih razultata iz Numeričkog modela (1) i Numeričkog modela (2) razvijenih postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature – primjer Stepanoff, A.J. (1957), mogu se izvesti sledeći zaključci: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim ng, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od nq. Ovaj zaključak se jasno vidi sa navedenih dijagrama dobijenih Numeričkim modelima (1) i (2), na kojima su korišćene različite referentne krive. Kod Numeričkog modela (1) kao referentna kriva korišćena je srednja kriva - polinom trećeg stepena koja je provučena između krivih 7 nq-ova modela pumpi, a kod Numeričkog modela (2) kao referentna kriva korišćena je matematička kriva (kriva modela sa najmanjim nq od 7 modela pumpi – polinom trećeg reda), a dobijene su iste vrijednosti za izračunate tačnosti r^2 za svih sedam nq-ova modela pumpi provučenih kroz Univerzalnu Jednačinu numeričkih modela (1) i (2). Takođe na osnovu dobijenih razultata iz Numeričkog modela (3) i Numeričkog modela (4) razvijenih postupkom regresije u programu Matlab za krive poznate iz klasične literature - primjer Pfleiderer, C. (1961) mogu se izvesti sledeći zaključci: da su rezultati dobri i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim - nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od - nq. Ovaj zaključak se jasno vidi sa navedenih dijagrama dobijenih Numeričkim modelima (3) i (4), na kojima su korišćene različite referentne krive. Kod Numeričkog modela (3) kao referentna kriva korišćena je srednja kriva - polinom trećeg stepena koja je provučena između krivih 5 nqova modela pumpi, a kod Numeričkog modela (4) kao referentna kriva korišćena je matematička kriva (kriva modela sa najmanjim - nq od 5 modela pumpi – polinom trećeg reda), a dobijene su iste vrijednosti za izračunate tačnosti r^2 za svih pet ng-ova modela pumpi provučenih kroz Univerzalnu Jednačinu numeričkih modela (3) i (4).

- Autor je tokom *prve četiri godine* izrade ove doktorske disertacije izvršio istraživanje analitičke veze u podacima za radne krive date u četiri kvadranta za osam modela (pumpi) iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996). *Tokom sedam godina* izrade ove doktorske autor je prikupio veći broj Suterovih krivih za modele pumpi, ukupno 21 set Četvoro-kvadrantnih karakteristika krivih za 21 model pumpi: nq = 15.7 [5]; nq = 20.5 [7]; nq =22.1 [5]; nq = 25 [2]; nq = 25.5 [5]; nq = 28.8 [5]; nq = 30.3 [5]; nq = 37.4 [7]; nq = 41.8 [6]; nq =64 [6]; nq = 71.97 [6]; nq = 76.21 [6]; nq = 85.21 [5]; nq = 96.85 [6]; nq = 100.56 [6]; nq =123 [6]; nq = 131 [6]; nq = 134 [6]; nq = 147 [2]; nq = 170 [6]; nq = 261 [2], preuzete iz radova od Brown, R.J. Rogers, D.C. (1980) [5]; Thorley, R.D, Chaudry, A. (1996) [6]; Kittredge, C.P. (1956) [7], i Donsky, B. (1961) [2]. *Tokom sedam godina* izrade ove doktorske disertacije autor je sakupio 17 setova Četvoro-kvadrantnih karakteristika krivih za 17 modela radijalnih pumpnih-592 turbina (modeli su razvijeni u laboratorijama u Kini, Americi, Rusiji, Austriji), a veći dio modela pumpnih-turbina, ukupno jedanest, autor je dobio od State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, P. R. China i Prof. Dr. Yongguang Cheng: nq = 17.53 (otvor - 26.8°) – Kina: nq = 20.73 (otvor - 24 mm) – Kina; nq = 24.34 (otvor -24 mm) – Kina; nq = 24.8 (otvor - 26 mm) - U.S.A; $nq = 26.24 \text{ (otvor} - 17.5^{\circ})$ – Kina; $nq = 26.24 \text{ (otvor} - 17.5^{\circ})$ 27 (otvor – 24 mm) – Srbija; nq = 28.6 (otvor - 18°) – U.S.A; nq = 30.95 (otvor - 20°) – Kina; nq = 35.89 (otvor - 33 mm) - Kina; nq = 38 (otvor - 24°) - Kina; nq = 41.6 (otvor - 36 mm) -Austrija; nq = 41.9 (otvor - 20°) – Kina; nq = 43.83 (otvor - 28 mm) – Rusija; nq = 44.93 (otvor -40 mm) – Kina; nq = 50 (otvor - 20.03°) – Kina; nq = 56 (otvor - 40 mm) – Kina; nq = 64.04(otvor - 16 mm) - Rusija. U prve četiri godine izrade ove doktorske disertacije, na osnovu osam modela pumpi razvijeni su numerički modeli u programu Matlab i dobijene Univerzalne Jednačine. Autor je razvio više varijanti numeričkih modela u programu Matlab (Varijanta 1, Varijanta 2, Varijanta 3 za pumpe) postupkom polinomalne regresije - metoda najmanjih kvadrata. I mogu se izvesti sledeći zaključci: da su rezultati dobri, i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim - nq, da te zavisnosti ne zavise od referentne krive i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od - nq. Takođe je autor razvio više varijanti numeričkih modela u programu Matlab (Numerički model 1 – nq-ovi modela - Varijanta 4, Numerički model 2 – novi nq-ovi - Varijanta 5), postupkom interpolacije (kubni splajn) za krive osam modela pumpi poznate iz klasične literature – primjer Thorley, R. D. & Chaudry, A. (1996)). I mogu se izvesti sledeći zaključci: da su rezultati dobri (bolji nego što su dobijeni postupkom polinomalne regresije), i da ohrabljuju da postoji univerzalna analitička zavisnost kojom bi se mogle opisati sve krive sa različitim - nq, i da je potvrđeno jasno postojanje zavisnosti od - nq.

Tokom dalje postupka izrade ove doktorske disertacije u *trajanju od sedam godina* autor je još dodatno razvio sledeće numerički model postupkom regresije za dobjanje Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike: (Varijanta 6) - Polinomi 3, 3, 7 reda za krive Wh karakteristike i Wm karakteristike za jedan model radijalne pumpe i sedam modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno; (Varijanta 7) - Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 8) – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh Karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 9) -Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 4 reda -Gausov model od 4 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 10) – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku za šest modela pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 11) – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 12) - Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda - Gausov model od 3 pika za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnihturbine zajedno; (Varijanta 13) – Ovaj primjer je urađen sa – Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno.

12. Opšti zaključci doktorske disertacije.

Naučni i stručni doprinos ove doktorske disertacije

Izradom ove doktorske disertacije ostvareni su se sledeći naučni i stručni doprinosi:

- Prvi doprinos je naučni doprinos i to je Jedinstvena Univerzalna Jednačina za Wh i Wm karakteristike u zavisnosti od specifične brzine - nq za radijalne pumpe i radijalne pumpne turbine (koja je razvijena korišćenjem numeričkog modela razvijenog u programu MATLAB), koja nigdje do sada nije objavljena u literaturi i predstavlja originalnu matematičku krivu. Jedinstvena Univerzalna Jednačina za Wh i Wm karakteristike u zavisnosti od specifične brzine nq za radijalne pumpe i radijalne pumpne-turbine je dobijena na osnovu 6 setova Suterovih krivih za 6 različita nq radijalnih pumpi, i na osnovu 13 setova Suterovih krivih za 13 različitih nq radijalnih pumpnih-turbina. Navedena jednačina se dobija na osnovu numeričkog modela razvijenog u Matlabu, i njena originalnost i univerzalnost se ogleda u mogućnosti da se u nju uvrsti bilo koja vrijednost za nq bilo koje radijalne pumpne-turbine i radijalne pumpe i kao izlaz dobijaju se podaci za Suterovu krivu $W_{m(\theta)}$ - karakteristika momenta i Suterovu krivu $W_{h(\theta)}$ karakteristika pada, koji se dalje koriste u numeričkim modelima za proračun prelaznih procesa na radijalnim pumpa.

- Drugi doprinos u ovoj doktorskoj disertaciji je da su izvršena poređenja rezultata dobijenih pri proračunu prelaznog procesa u pumpnom postrojenju pod 17 specifičnih brzina - nq. Vrijednosti za Suterove krive za Wh i Wm karakteristike su dobijene preračunavanjem karakteristika modela Q_{11} , n_{11} , M_{11} i iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, i korišćeni su kao ulazni podaci za numerički model da bi se izračunao prelazni proces na pumpnom postrojenju. U prvom slučaju, vrijednosti za Wh i Wm karakteristike koje su dobijene preračunavanjem četvorokvadrantnig krivih dobijenih na modelskim ispitivanjima (skup tačaka) je unijet kao poseban fajl van numeričkog modela razvijenog u programu Matlab. U drugom slučaju su unijete vrijednosti dobijene iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike (ove jednačine su uključene u numerički model). Poređenje izračunatih rezultata pokazalo je da Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike daju skoro iste rezultate kao i tačni podaci za karakteristike Wh i Wm dobijeni na modelskim ispitivanjima. Nadalje, po prvi put je autor ove doktorske disertacije opisao primjenu rezultata dobijenih iz Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike u numeričkom modelu u programu Matlab za proračun prelaznog procesa u pumpnom postrojenju. Treba napomenuti da su se prilikom poređenja ulaznih vrijednosti za karakteristike Wh i Wm dobijene iz Univerzalne Jednačine i dobijene preračunavanjem podataka ispitivanja eksperimentalnog modela za različite vrijednosti ng, razlikovale za manje od 3%. U ovoj doktorskoj disertaciji je razvijeno je više modela u programu Matlab za dobijanje Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike, pri čemu su za razvijanje ovih modela (fitovanjem - uklapanjem podataka) korišćene sledeće matimatičke funkcije: (Varijanta 6) -Polinomi 3, 3, 7 reda za krive Wh karakteristike i Wm karakteristike za jedan model radijalne pumpe i sedam modela radijalnih pumpnih-turbina zajedno; (Varijanta 7) – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 5 reda – Gausov model od 5 pikova za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 5 reda -Gausov model od 5 pikova za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 8) - Ovaj primjer je urađen sa -Furijerovom funkcijom 3 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wh Karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 4 reda - Gausov model od 4 pika za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 9) – Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 3

reda i Gausovom funkcijom 4 reda – Gausov model od 4 pika za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinom 7 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 10) - Ovaj primjer je urađen sa -Furijerovom funkcijom 3 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 8 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 11) - Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 9 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 12) - Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 5 reda i Polinomom 9 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Gausovom funkcijom 3 reda – Gausov model od 3 pika za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno; (Varijanta 13) - Ovaj primjer je urađen sa - Furijerovom funkcijom 4 reda i Polinomom 8 reda za Wh karakteristiku, Furijerovom funkcijom 2 reda i Polinomom 6 reda za Wm karakteristiku za šest modela radijalnih pumpi i trinest modela radijalnih pumpnih-turbine zajedno. U ovoj doktorskoj disertaciji su prikazani rezultati proračuna prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, gdje se u numeričkom modelu za proračun prelaznih procesa razvijenom u program Matlab, kao ulazni podaci koristile vrijednosti za Wh i Wm karakteristike dobijene iz svih prethodno navednih modela za dobijanje Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike. Takođe veoma bitan doprinos ove doktorske disertacije je što je izvršena analiza uticaja specifične brzine - nq na rezultate dobijene tokom proračuna prelaznih procesa na pumpnom postrojenju, i utvrđeno je da postoji uticaj specifične brzine (nq) na rezultate proračuna prelaznog procesa.

- Treći doprinos je stručni doprinos i to je okupljanje svih podataka sa Četvoro-kvadrantnih krivih za 21 model pumpi sa različitim - *nq*, i 17 modela radijalnih pumpnih-turbina sa različitim specifičnim brojem obrtaja - *nq*, koje je autor ove doktorske disertacije preračunao u Suterove krive i objedinio na jedno mjesto u ovoj doktorskoj disertaciji i mogu biti dostupni široj javnosti, i što se na ovaj način omogućuje da se provjere stručni proračuni koje rade u praksi inženjeri širom svijeta na osnovu *Jedinstvene Univerzalne Jednačine za Wh i Wm karakteristike*.

- Takođe još jedan naučni doprinos disertacije je teorijsko istraživanje i analiza različitih numeričkih modela za proračun prelaznih pojava u hidro turbinama, i još jedan važan naučni doprinos diseratcije je analiza korišćenja pumpe kao turbine.

- Iz prethodno navedenog sadržaja vidi se da je tema disertacije interesantna ne samo za prelazne režime, već i za korišćenje pumpe kao turbine, koje postaje sve češće u poslednje vrijeme, a samim tim kriva iz dijagonalno suprotnog kvadranta je onda zaista potrebna za uobičajnu praksu.

- Konačno, glavni naglasak ove doktorske disertacije je da su numerički modeli razvijeni u programu MATLAB za dobijanje *Univerzalnih Jednačina za Wh i Wm karakteristike* originalni i nijesu predstavljeni ni u jednom do sada objavljenom naučnom radu ili disertaciji.

13. Literatura

- [1] Stepanoff, A. J. (1959): *Radial und Axialpumpen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
- [2] Donsky, B. (1961): Complete pump characteristics and the effects of specific speeds on hydraulic transients. Basic Eng, Trans ASME, pp.685-699.
- [3] Chaudhry, M. H. (1979): *Applied hydraulic transients*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA.
- [4] Wylie, E. B. & Streeter, V. L. (1993): *Fluid Transients in Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632.
- [5] Brown, R. J. & Rogers, D. C. (1980): Development of Pump Characteristics from Field *Tests*. J. Mech. Des 102(4), 807-817 (Oct 01, 1980), doi:10.1115/1.3254826.
- [6] Thorley, A. R. D. & Chaudry, A. (1996): *Pump characteristics for transient flow analysis*. BHR Group Conference Series, Publication No.19.
- [7] Kittredge, C. P. (1956): *Hydraulic Transients in Centrifugal Pump Systems*. ASME, Vol. 78, No. 6, pp. 1307-1322.
- [8] Zheng, X. B. ^{1,2}, Guo, P. C. ^{1,2}, Tong, H. Z. ¹ and Luo, X. Q. ^{1,2} (2012): Improved Sutertransformation for complete characteristic curves of pump-turbine; ¹ Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, No.5 South Jinhua Road, Xi'an, 710048, China; ² FINE Institute for Hydraulic Machinery, A-16F, Huaxing Times Plaza, No.478 Wensan Rd, Hangzhou, 310013, China, 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, IOP Publishing, Beijing China.
- [9] Thorley, A. R. D. (March. 2004): *Fluid Transients in Pipeline Systems*. 2nd ed. ISBN: 978-1-860-58405-3, March 2004, p.302.
- [10] Li, Z. Bi, H. Karney, B. Wang, Z. Yao, Z. (2017): Three-dimensional transient simulation of a prototype pump-turbine during normal turbine shutdown. J Hydraulic Res, 55(4), p. 520-537. DOI: 10.1080/00221686.2016.1276105.
- [11] Chaudhry M. H. (2014): *Applied hydraulic transients*. New York: Springer-Heidelberg Dordrecht (London), 2014.
- [12] Knapp, R. T. (Nov. 1937): Complete Characteristics of Centrifugal Pumps and their Use in the Prediction of Transient Behavior. Trans. A. S. M. E, pp. 683-689.
- [13] Suter P. (1966): *Representation of pump characteristics for calculation of water hammer*. Sulzer Technical Review, Research No. 66. pp 45-48.
- [14] Dörfler, P. K. (2010): Improved Suter Transform for Pump-Turbine Characteristics, R&D

Department, Andritz Hydro Ltd. P.O. Box 2602, 8021 Zurich, Switzerland.

- [15] Li, H. Lin, H. Huang, W. Li, J. Zeng, M. Ma, J. Hu, X. A. (2021): New Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of Centrifugal Pumps. Energies 2021, 14, 8580.
- [16] Yu, J. Akoto, E. Degbedzui, D. K. Hu, L. (2023): Predicting Centrifugal Pumps' Complete Characteristics Using Machine Learning. Processes 2023, 11, 524. <u>https://doi.org/10.3390/pr11020524</u>.
- [17] Zhou, W. Yu, D. Wang, Y. Shi, J. Gan, B. (2023): Research on the Fluid-Induced Excitation Characteristics of the Centrifugal Pump Considering the Compound Whirl Effect. Facta Univ. Ser. Mech. Eng. 2023, 21, 223–238. <u>https://doi.org/10.22190/FUME210528065Z</u>.
- [18] Zhou, W. Wang, Y. Li, C. Zhang, W. Wu, G. (2020): Analysis of Fluid-Induced Force of Centrifugal Pump Impeller with Compound Whirl. Alex. Eng. J. 2020, 59, 4247–4255.
- [19] Walters, T. W. Dahl, T. Rogers, D. (2020): Pump Specific Speed and Four Quadrant Data in Water hammer Simulation—Taking Another Look" auxiliary data files. In Proceedings of the ASME 2020, Pressure Vessels and Piping Conference, Online, 3 August 2020; Volume 4.
- [20] Li, H. Lin, H. Huang, W. Li, J. Zeng, M. Ma, J. Hu, X. A. (2021): New Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of Centrifugal Pumps. Energies 2021, 14, 8580.
- [21] Zhang, L. Xu, H. Yu, Y.H. (2007): *Fitting method for pump complex characteristic curve based on B-spline*. Drain. Irrig. Mach. 2007, 25, 50–53.
- [22] Shao, W. Y. Zhang, X. (2004): A new simulation method of complete characteristic curves of reversible pump turbine moving least square approximation. J. Hydroelectr. Eng. 2004, 23, 102–106.
- [23] Wang, L. Li, M. Wang, F.J. Wang, J.B. Yao, C.G. Yu, Y.S. (2017): Study on threedimensional internal characteristics method of Suter curves for double-suction centrifugal pump. J. Hydraul. Eng. 2017, 48, 113–122.
- [24] Gros, L. Couzinet, A. Pierrat, D. Landry, L. (2011): Complete pump characteristics and 4 - quadrant representation investigated by experimental and numerical approaches. In Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2011 Joint Fluids Engineering Conference, Hamamatsu, Japan, 24–29 July 2011; Volume 1, pp. 359–368.
- [25] Thanapandi, P. Prasad, R. (1995): Centrifugal pump transient characteristics and analysis using the method of characteristics. Int. J. Mech. Sci. 1995, 37, 77–89.
- [26] Höller, S. Benigni, H. Jaberg, H. (2016): Investigation of the 4-Quadrant behaviour

of a mixed flow diffuser pump with CFD-methods and test rig evaluation. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2016, 49, 032018.

- [27] Huang, S. Qiu, G. Su, X. Chen, J. Zou, W. (2017): Performance prediction of a centrifugal pump as turbine using rotor-volute matching principle. Renew. Energy 2017, 108, 64–71.
- [28] Wan, W. Huang, W. (2011): Investigation on complete characteristics and hydraulic transient of centrifugal pump. J. Mech. Sci. Technol. 2011, 25, 2583–2590.
- [29] Lima, G. M. Luvizotto Júnior, E. (2017): Method to estimate complete curves of hydraulic pumps through the polymorphism of existing curves. J. Hydraul. Eng. 2017, 143, 04017017.
- [30] Hu, X. Y. Yu, B. Guo, J. Wang, S. K. (2012): Visualization for predictable model of complete characteristic curve of pump. Fluid Mach. 2012, 3, 37–39.
- [31] Zhu, M. L. Zhang, X. H. Zhang, Y. H. Wang, T. (2006): Study on prediction model of complete characteristic curves of centrifugal pumps. J. Northwest Sci-Tech. Univ. Agric. For. Nat. Sci. Ed. 2006, 4, 143–146.
- [32] Yang, Y. S. Dong, R. Jing, T. (2010): Influence of Full Characteristic Curve on Pump-off Water Hammer and Its Protection. China Water Wastewater 2010, 26, 63– 66.
- [33] Huang, B. Wu, P. Liu, X. S. Feng, X. D. Yang, S. Wu, D. Z. (2020): Four-quadrant Full Characteristic Model Test of the ACP100 Reactor Coolant Pump. Fluid Mach. 2020, 48, 8–11.
- [34] Huang, W. Yang, K. Guo, X. Ma, J. Wang, J. Li, J. (2018): Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of a Francis Pump-Turbine. Water 2018, 10, 205.
- [35] Dai, C. Dong, L. Lin, H. Zhao, F. (2020): A Hydraulic Performance Comparison of Centrifugal Pump Operating in Pump and Turbine Modes. J. Therm. Sci. 2020, 29, 1594– 1605.
- [36] Wang, W. Guo, H. Zhang, C. Shen, J. Pei, J. Yuan, S. (2023): Transient Characteristics of PAT in micro pumped hydro energy storage during abnormal shutdown process. Renew. Energy 2023, 209, 401–412.
- [37] Casartelli, E. Del Rio, A. Mangani, L. Schmid, A. (2022): Capturing the S-shape of pump-turbines by computational fluid dynamics simulations using an anisotropic turbulence model. Journal of Fluids Engineering, 144(2), 021203.
- [38] Xia, L. S. Zhang, C. Z. Li, H. (2021): *Influences of runner blade shape on the transient behaviours of pump-turbines in load rejection*. Journal of Hydraulic Research, Volume 59, 2021 Issue 3.

- [39] Hu, J. Yang, J. Zeng, W. Yang, J. (2019): Constant-speed oscillation of a pumpturbine observed on a pumped-storage model system. Journal of Fluids Engineering, 141(5), 051109.
- [40] Li, D. Qin, Y. Zuo, Z. Wang, H. Liu, S. Wei, X. (2019): Numerical simulation on pump transient characteristic in a model pump-turbine. Journal of Fluids Engineering, 141 (11), 111101.
- [41] Ran, H. Luo, X. (2018): *Experimental study of instability characteristics in pumpturbines.* Journal of Hydraulic Research, 56(6), p. 871-876.
- [42] Xiuli, M. Giorgio, P. Yuan, Z. (2018): Francis-type reversible turbine field investigation during fast closure of wicket gates. Journal of Fluids Engineering, 140(6), 061103.
- [43] Xia, L. S. Cheng, Y. G. You, J. Zhang, X. Yang, J. Qian, Z. (2017): Mechanism of the S-shaped characteristics and the runaway instability of pump-turbines. Journal of Fluids Engineering, 139(3), 031101.
- [44] Zhang, X. Cheng, Y. G. Xia, L. S. Yang, J. Qian, Z. (2016): Looping dynamic characteristics of a pump-turbine in the S-shaped region during runaway. Journal of Fluids Engineering,138(9), 091102.
- [45] Zeng, W. Yang, J. Hu, J. Yang, J. (2016): Guide-vane closing schemes for pumpturbines based on transient characteristics in S-shaped region. Journal of Fluids Engineering, 138(5), 051302.
- [46] Cavazzini, G. Covi, A. Pavesi, G. Ardizzon, G. (2016). Analysis of the unstable behavior of a pump-turbine in turbine mode: Fluid-dynamical and spectral characterization of the S shape characteristic. Journal of Fluids Engineering, 138(2), 021105.
- [47] Zeng, W. Yang, J. Guo, W. (2015): Runaway instability of pump-turbines in Sshaped regions considering water compressibility. Journal of Fluids Engineering, 137(5), 051401.
- [48] Sun, H. Xiao, R. Liu, W. Wang, F. (2013): Analysis of S-characteristics and pressure pulsations in a pump-turbine with misaligned guide vanes. Journal of Fluids Engineering, 135(5), 051101.
- [49] Huang, W. Yang, K. Guo, X. Ma, J. Wang, J. Li, J. (2018): Prediction Method for the Complete Characteristic Curves of a Francis Pump-Turbine, Water, 10, 205.
- [50] Pejovic, S. Krsmanovic, Lj. Jemcov, R. Crnkovic, P. (1976): Unstable Operation of *High -Head Reversible Pump-Turbines*. 8th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery Equipment and Cavitation, Leningrad, USSR, Paper III-2.

- [51] Zeng, W. Yang, J. Cheng, Y. G. (2015): Construction of Pump -Turbine Characteristics at Any Specific Speed by Domain-Partitioned Transformation, ASME Journal of Fluids Engineering, 137(3), 031103.
- [52] Simpson, A. R. Marchi, A. (2013): Evaluating the approximation of the affinity laws and improving the efficiency estimate for variable speed pumps. Journal of Hydraulic Engineering, 139(12), 1314-1317.
- [53] Martin C. S. (2008): *Pumped Storage*, Section 12.14 of McGraw-Hill Pump Handbook, Fourth Edition, 2008.
- [54] Canale, R. P. & Chapra, S. C. (2015): *Numerical Methods for Engineers, SEVENTH EDITION*, Published by McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, NY 10121.
- [55] Stepanoff, A. J. (1957): *Centrifugal and Axial Flow Pumps*, Published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [56] Pfleiderer, C. (1961): Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, Springer-Verlag Berlin. Göttingen. Heidelberg.
- [57] Turboinštitut (2009): PIVA HPP Turbine Site Testing Units 1. Report, Ljubljana, Slovenia.