

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Vukosav B. Golubović

**UNAPREĐENJE PROIZVODNIH
KARAKTERISTIKA KALIFORNIJSKE
PASTRMKE (*Oncorhynchus mykiss*,
Walbaum, 1792), UKRŠTANJEM
SELEKCIONISANIH FAMILIJA SA
TERITORIJE REPUBLIKE SRBIJE**

doktorska disertacija

Beograd, 2026

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Vukosav B. Golubović

**IMPROVEMENT OF PRODUCTION TRAITS IN
RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*,
Walbaum, 1792) THROUGH
CROSSBREEDING OF SELECTED FAMILIES
FROM THE REPUBLIC OF SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Mentori:

Dr Zoran Marković, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Dragan Ž. Stanojević, vanredni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

Dr Radica Đedović, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Saša Marić, redovni profesor
Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Božidar Rašković, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marko Stanković, vanredni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Ljuba Štrbac, vanredni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

Datum odbrane doktorske disertacije: _____

ZAHVALNICA

Posebnu i najdublju zahvalnost dugujem svom mentoru prof. dr **Zoranu Markoviću**, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, čija je vizionarska ideja postavila temelje celokupnog istraživanja prikazanog u ovoj doktorskoj disertaciji. Svojim naučnim integritetom, profesionalnim vođenjem, širokim znanjem, bogatim iskustvom i stručnim savetima dao je izuzetan doprinos osmišljavanju, realizaciji i finalizaciji ovog rada. Posebno mu zahvaljujem na nesebičnom prenošenju znanja, svakodnevnoj podršci, kao i obezbeđivanju neophodnih uslova i sredstava za sprovođenje istraživanja tokom izrade ove doktorske disertacije. Veliku zahvalnost dugujem i na ukazanom poverenju, razumevanju i strpljenju tokom svih godina zajedničkog rada. Njegovo vizionarsko vođenje, strpljenje i naučna strogost bili su od neprocenjivog značaja za oblikovanje istraživačkih ideja i uspešan završetak ove disertacije.

Duboku zahvalnost dugujem svom mentoru prof. dr **Draganu Stanojeviću**, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na stručnoj pomoći, razumevanju i korisnim sugestijama koje je nesebično pružao tokom kompleksne obrade i interpretacije podataka, čime je značajno doprineo naučnoj utemeljenosti ove doktorske disertacije. Posebno značajna bila je njegova stručna pomoć, tehnička podrška i smernice tokom statističke i metodološke obrade podataka, što je bilo ključno za preciznost i kvalitet dobijenih rezultata. Takođe, dao je veliki doprinos pri pisanju i tumačenju rezultata istraživanja.

Posebnu zahvalnost dugujem prof. dr **Marku Stankoviću**, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na pomoći tokom sprovođenja istraživačkog rada, prikupljanja i pripreme podataka za statističku obradu, kao i na konstruktivnim kritikama i sugestijama koje su doprinele teorijskom i metodološkom uobličavanju ove doktorske disertacije. Zahvalan sam mu na strpljenju, bodrenju i pružanju motivacije tokom izrade doktorske disertacije i tokom zajedničkog rada svih ovih godina.

Veliku zahvalnost dugujem prof. dr **Ljubi Štrbac**, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu, na nesebičnoj pomoći tokom rešavanja prepreka u obradi i analizi podataka. Zahvaljujem joj se na izdvojenom vremenu, stručnim savetima i značajnim sugestijama koje su doprinele da ova doktorska disertacija dobije svoj konačan oblik.

Na izdvojenom vremenu, korisnim sugestijama i stručnim predlozima koji su značajno doprineli unapređenju ove doktorske disertacije zahvaljujem se prof. dr **Radici Đedović**, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, prof. dr **Saši Mariću**, redovnom profesoru Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, prof. dr **Božidaru Raškoviću**, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Posebno im se zahvaljujem na pažljivom čitanju rukopisa, brzom i konstruktivnoj komunikaciji, kao i na rečima podrške tokom izrade ove doktorske disertacije.

Neizmernu zahvalnost dugujem dragom kolegi master inženjeru poljoprivrede **Stefanu Marjanoviću**, istraživaču saradniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, naročito na realizaciji terenskog dela istraživanja, prikupljanju samih podataka i pomoći tokom statističke obrade podataka. Njegovi korisni predlozi, saveti i podrška bili su od velikog značaja za izradu ove doktorske disertacije.

Zahvalnost dugujem dragoj i poštovanoj kolegini master inženjeru poljoprivrede **Aleksandri Dobričić**, istraživaču pripravniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na nesebičnoj podršci, pomoći i dragocenim savetima koje je pružala kad god je to bilo potrebno, čime je doprinela kvalitetu ove doktorske disertacije.

Na podršci i pomoći tokom praktičnog dela istraživanja zahvalan sam kolegi, specijalisti inženjeru **Daliboru Vučkojeviću**, kao i svim zaposlenima i saradnicima Centra za ribarstvo i primenjenju hidrobiologiju "Mali

Dunav". Počev od studentskih dana, a potom i kroz naučno-istraživački put "Mali Dunav" je spontano postao moja druga kuća, a svi ljudi koji ga čine moja druga porodica.

Iskrenu zahvalnost i poštovanje dugujem dragim koleginicama **Zorici Radović**, tehničkom saradniku, Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu i **Ljubici Todorić**, tehničkom saradniku, Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na nesebičnoj podršci, razumevanju i bodrenju tokom izrade doktorske disertacije. Njihova vera u mene i reči ohrabrenja bile su snažan podstrek i veliki vetar u leđa onda kada je bilo najpotrebnije.

Duboku zahvalnost dugujem svim ljudima koji su na različite načine bili deo mog istraživačkog i akademskog puta. Svojom podrškom, savetima, razumevanjem i prisustvom dali su dragocen doprinos nastanku i konačnom oblikovanju doktorske disertacije.

Moja najveća podrška, moja najveća snaga i najveći oslonac jeste moja porodica. Duboku, nemešljivu i najveću zahvalnost dugujem svojoj supruzi **Miljani** i sinu **Ignjatu**. Moja supruga je uz mene od početka mojih studentskih dana, pa sve do danas, deleći sa mnom svaki izazov, neizvesnost, uspeh i radost. Bila je i ostala izvor ljubavi, razumevanja, motivacije, vere i snage tokom svih godina mog školovanja, rada i usavršavanja. Kao što ime mog sina sa sobom nosi simboliku vatre koja gori u srcu i duši - snage, hrabrosti, odlučnosti, vere i sposobnosti da se nosi sa izazovima - tako je i on došao u naše živote onda kada je bilo najpotrebnije. Svojim vatrenim karakterom osvetljava naš put, unosi radost i toplinu i predstavlja simbol moje unutrašnje snage, kreativnosti i strasti. Njegovo prisustvo dalo je posebnu snagu i smisao svakom trenutku ovog puta. Miljana i Ignjat su bili izvor ljubavi, razumevanja, podrške, poverenja, mira i snage tokom svih izazova. Hvala im što su uz mene u svakom trenutku, deleći sa mnom i teret i radost ovog puta. Njima dugujem najviše ljubavi i vremena.

Oni bez kojih ne bih bio ovdje gde jesam jesu otac **Blažo** i majka **Slavica**. Njihova ljubav, podrška i razumevanje utkani su u svaki segment mog naučnog dostignuća. Hvala im što su me naučili pravim vrednostima, istrajnosti i što su verovali u mene i onda kada je bilo najteže. Njihova nesebična podrška predstavljala je temelj na kojem sam gradio svoj lični i profesionalni put. Znam ih - oni su danas najponosniji. Nikako ne smem zaboraviti sestrinsku ljubav, podršku i veru u mene tokom svakog životnog i profesionalnog puta. To su sestre **Bojana**, **Branka**, **Ana**. Zahvalan sam sestriću **Pavlu**, sestričinama **Dunji** i **Barbari**, kao i zetu **Nikoli**, na ljubavi, razumevanju i podršci koje su mi pružili. Zahvalan sam na bezuslovnoj podršci i velikom razumevanju tokom svih godina rada i usavršavanja tastu **Miroslavu**, šuri **Nemanji**. Posebno mesto u mom sećanju i zahvalnosti zauzima tašta **Vesna**, koja nažalost, više nije sa nama, ali čiju dobrotu, podršku i toplinu nikada neću zaboraviti. Verujem i znam da bi danas bila u prvom redu i jedna od najponosnijih na ovaj trenutak i sve što sam postigao.

Autor

UNAPREĐENJE PROIZVODNIH KARAKTERISTIKA KALIFORNIJSKE PASTRMKE (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792), UKRŠTANJEM SELEKCIONISANIH FAMILIJA SA TERITORIJE REPUBLIKE SRBIJE

Sažetak

Cilj doktorske disertacije jeste procena mogućnosti genetičkog unapređenja osobina rasta kalifornijske pastrmke *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) primenom selekcije i planskog odgajivanja u proizvodnim uslovima u Republici Srbiji. Istraživanje je zasnovano na podacima prikupljenim u okviru sprovođenja odgajivačkog programa koje je započeto formiranjem matičnog jata sa osam ribnjaka. Analizirana populacija obuhvatila je 11084 jedinki praćenih u periodu od 2011. do 2020. godine. Inkubacija ikre i gajenje mlađi do 5-og meseca starosti, obavljano je u individualnim tankovima, u strogo kontrolisanim uslovima u Centru za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju „Mali Dunav“, Ogladnog dobra „Radmilovac“ Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, a zatim u komercijalnim protočnim sistemima (pastrmskim ribnjacima). Telesna masa i dužina tela merene su u uzrastu od 5, 12, 24, 36 i 48 meseci. Procena genetičkih parametara izvršena je primenom REML metode u okviru mešovitih linearnih modela, uključujući fiksne efekte godine mresta, pola i tanka, kao i slučajni aditivni genetički efekat jedinke. Vrednosti heritabiliteta za telesnu masu i dužinu tela bile su umerene do visoke, krećući se približno u rasponu od 0,20 do 0,60 u većini uzrasnih kategorija, dok su u uzrastu od 48 meseci zabeležene niže vrednosti, što ukazuje na povećan uticaj faktora sredine u kasnijim fazama razvoja. Priplodne vrednosti su procenjene i standardizovane radi poređenja između generacija. Distribucija vrednosti pokazala je očekivani normalan oblik, sa najvećim brojem jedinki oko srednje vrednosti populacije. Genetički trend procenjen regresionom analizom pokazao je pozitivan i statistički jasan napredak, naročito za osobine merene od 24 meseca starosti i nadalje. Analiza dugoročnih trendova omogućava dublje razumevanje dinamike genetičkog napretka u populaciji. Prosečan koeficijent inbridinga iznosio je 8,45%, uz maksimalne vrednosti do 29,68%, što ukazuje na potrebu kontrole parenja u srodstvu. Genetičke i fenotipske korelacije između telesne mase i dužine tela bile su sredenje do visoke i pozitivne (0,87–0,98 i 0,80–0,96), što potvrđuje snažnu povezanost ovih osobina. Dobijeni rezultati ukazuju da primenjeni selekcijski program omogućava značajno unapređenje osobina rasta, čime se povećava proizvodna efikasnost i ekonomska isplativost pastrmske proizvodnje. Rezultati istraživanja potvrđuju značaj integracije kvantitativno-genetičkih pristupa u savremene sisteme akvakulture. Procena genetičkih parametara predstavlja pouzdanu osnovu za dalju optimizaciju odgajivačkih programa i doprinosi razvoju metodoloških okvira za efikasnije upravljanje genetičkim resursima u ribarstvu.

Ključne reči: kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*), osobine rasta, selekcija familija, fenotipska i genetička varijabilnost, heritabilitet, genetički trend, priplodne vrednosti, inbriding, genetičke i fenotipske korelacije

Naučna oblast: Biotehničke nauke

Uža naučna oblast: Primenjena zoologija i ribarstvo

UDK: 639.3.03:597.552.512 (497.11) (043.3)

IMPROVEMENT OF PRODUCTION TRAITS IN RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) THROUGH CROSSBREEDING OF SELECTED FAMILIES FROM THE REPUBLIC OF SERBIA

Summary

This doctoral dissertation investigates the potential for genetic improvement of growth traits in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) through the application of selection and breeding under commercial aquaculture conditions in the Republic of Serbia. The study was based on data obtained during the implementation of a structured breeding program established using broodstock collected from eight fish farms. The analyzed population included 11084 individuals monitored during the period 2011–2020. Incubation of roe and rearing of fry up to five months of age were conducted in individual tanks under strictly controlled conditions at the Center for Fisheries and Applied Hydrobiology „Mali Dunav”, Experimental Farm „Radmilovac”, Faculty of Agriculture, University of Belgrade, after which the fish were transferred to commercial flow-through systems (trout farm). Body weight and body length were recorded at 5, 12, 24, 36, and 48 months of age. Genetic parameters were estimated using the REML method within mixed linear models including fixed effects of spawning year, sex and tank, along with random additive genetic effects of individuals. Heritability estimates for body weight and body length were moderate to high, ranging from approximately 0.20 to 0.60 in most age classes. Lower heritability values were observed at 48 months of age, indicating a stronger influence of environmental factors at later stages of development. Breeding values were estimated and standardized to enable comparisons across generations. Their distribution followed a normal pattern, with the majority of individuals clustered around the population mean. Genetic trends, assessed by regression analysis, showed a clear and positive response to selection, particularly for traits measured from 24 months of age onwards. Analysis of long-term trends enables a deeper understanding of the dynamics of genetic progress in a population. The average inbreeding coefficient was 8.45%, with maximum values reaching 29.68%, which highlights the importance of controlling inbreeding levels. Genetic and phenotypic correlations between body weight and body length were high and positive (0.87–0.98 and 0.80–0.96, respectively), indicating a strong biological association between these traits. The obtained results indicate that the implemented breeding program significantly improved growth performance, contributing to increased productivity and economic profitability of trout aquaculture. The results of the study confirm the importance of integrating quantitative genetic approaches into modern aquaculture systems. The assessment of genetic parameters provides a reliable basis for further optimization of breeding programs and contributes to the development of methodological frameworks for more efficient management of genetic resources in fisheries.

Key words: rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), growth traits, family selection, phenotypic and genetic variability, heritability, genetic trend, breeding values, inbreeding, genetic and phenotypic correlations

Scientific field: Biotechnical sciences

Narrower scientific field: Applied zoology and fisheries

UDC: 639.3.03:597.552.512 (497.11) (043.3)

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. PREGLED LITERATURE..... | 3 |
| 2.1. Stanje akvakulture u svetu..... | 3 |
| 2.2. Stanje akvakulture u Republici Srbiji..... | 4 |
| 2.3. Opšte karakteristike kalifornijske pastrmke <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)..... | 6 |
| 2.3.1. Taksonomija i poreklo kalifornijske pastrmke..... | 6 |
| 2.3.2. Morfološke karakteristike kalifornijske pastrmke..... | 8 |
| 2.3.3. Staništa kalifornijske pastrmke..... | 9 |
| 2.3.4. Sistemi gajenja kalifornijske pastrmke..... | 10 |
| 2.3.5. Nutritivna vrednost mesa kalifornijske pastrmke..... | 10 |
| 2.4. Selekcijski programi u akvakulturi..... | 11 |
| 2.5. Selekcija u cilju poboljšanja proizvodnih osobina..... | 12 |
| 2.6. Fenotipska i genetička varijabilnost proizvodnih osobina..... | 14 |
| 2.7. Uticaj faktora spoljašnje sredine na proizvodne osobine..... | 14 |
| 2.8. Naslednost proizvodnih osobina..... | 15 |
| 2.9. Procena priplodne vrednosti proizvodnih osobina..... | 16 |
| 2.10. Stopa inbridinga..... | 17 |
| 2.11. Genetičke i fenotipske korelacije proizvodnih osobina..... | 18 |
| 2.12. Familijska selekcija (selekcija po familijama)..... | 20 |
| 2.13. Šema ukrštanja..... | 20 |
| 3. CILJ ISTRAŽIVANJA..... | 22 |
| 4. MATERIJAL I METODE..... | 23 |
| 4.1. Materijal..... | 23 |
| 4.1.1. Prikupljanje matica za program selekcije..... | 23 |
| 4.1.2. Mrest kalifornijske pastrmke..... | 24 |
| 4.1.3. Inkubacija ikre..... | 27 |
| 4.1.4. Čipovanje (obeležavanje) mlađi..... | 30 |
| 4.1.5. Gajenje mlađi i polno zrelih jedinki..... | 32 |
| 4.2. Metode..... | 35 |
| 4.2.1. Korišćeni softver i statistički alati..... | 35 |
| 4.2.2. Deskriptivna statistička analiza fenotipskih osobina..... | 35 |
| 4.2.3. Uticaj ispitivanih faktora..... | 36 |
| 4.2.4. Procena heritabiliteta i priplodnih vrednosti..... | 36 |
| 4.2.5. Procena genetičkog trenda..... | 38 |
| 4.2.6. Procena koeficijenta inbridinga..... | 38 |
| 4.2.7. Procena genetičkih i fenotipskih korelacija..... | 38 |

| | |
|---|------------|
| 5. REZULTATI I DISKUSIJA | 39 |
| 5.1. Fenotipska ispoljenost i varijabilnost osobina telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke | 39 |
| 5.2. Polni dimorfizam kalifornijske pastrmke | 48 |
| 5.3. Uticaj godine mresta, tanka i pola | 50 |
| 5.4. Procena heritabiliteta (h^2) osobina telesne razvijenosti | 51 |
| 5.5. Procena priplodnih vrednosti (EBV) osobina telesne razvijenosti | 53 |
| 5.6. Genetički trend osobina telesne razvijenosti | 56 |
| 5.7. Koeficijent inbridinga..... | 59 |
| 5.8. Genetičke i fenotipske korelacije osobina telesne razvijenosti | 59 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 62 |
| 7. LITERATURA | 64 |
| 8. PRILOZI..... | 87 |
| 9. BIOGRAFIJA AUTORA | 108 |
| 10. Izjava o autorstvu..... | 109 |
| 11. Izjava o istovetnosti štampe i elektronske verzije doktorskog rada..... | 110 |
| 12. Izjava o korišćenju | 111 |

1. UVOD

Globalni rast broja stanovnika, praćen promenama u potrošačkim navikama i sve većom potrebom za proteinima životinjskog porekla, dovodi do kontinuiranog povećanja potražnje za ribom i ribljim proizvodima. Budući da su ribe u prirodnim ekosistemima u mnogim delovima sveta izložene prekomernom izlovu i degradaciji staništa, akvakultura preuzima ključnu ulogu u obezbeđenju stabilnih i održivih izvora ribe za ljudsku ishranu. Prema podacima FAO (2022), akvakultura obezbeđuje više od polovine globalne proizvodnje ribe za ishranu ljudi, što ukazuje na potrebu daljeg unapređenja produktivnosti, efikasnosti i održivosti ovog sektora.

Današnji razvoj akvakulture obuhvata unapređenja kao što su: optimizacija organizacije i upravljanja proizvodnjom, poboljšanje nutritivne vrednosti komercijalnih smeša za ishranu riba, primena savremenih metoda kontrole kvaliteta vode, kao i napredna prevencija i kontrola bolesti. Međutim, jedan od najznačajnijih faktora koji dugoročno određuje uspešnost akvakulture jeste primena genetičkih i odgajivačkih metoda. Značajan doprinos proizvodnji daje gajenje genetički unapređenih populacija. Od samog početka razvoja akvakulture, odgajivači su nastojali da poboljšaju telesne osobine riba, vršeći odabir najboljih jedinki (onih jedinki koje su imale proporcionalno razvijene telesne dimenzije). Takav način selekcije u početku se sprovodio spontano, bez upotrebe genetičkih metoda, polazeći od pretpostavke da su najbolje proporcije tela (odnos dužine, širine, visine i težine) u pozitivnoj korelaciji sa proizvodnim osobinama (Gjedrem i Baranski, 2009).

Selekcija se primenjuje u gotovo svim uzrastima života, odnosno od formiranja gameta, tokom razvoja jedinke i nakon dostizanja polne zrelosti. Ipak, najefikasnije selekcijsko delovanje ostvaruje se upravo pri izboru polno zrelih jedinki (Đedović, 2015). Izbor matičnog materijala na osnovu fenotipskih osobina i danas je način rada na većini ribnjaka širom sveta. Opšti ciljevi selekcijskog rada u pastrmskoj proizvodnji najčešće su usmereni ka unapređenju ključnih ekonomskih i bioloških osobina, među kojima se izdvajaju:

1. povećanje brzine rasta,
2. poboljšanje reproduktivnih karakteristika,
3. skraćivanje perioda inkubacije ikre,
4. poboljšanje kvaliteta mesa,
5. povećanje otpornosti na bolesti,
6. povećanje procenta preživljavanja,
7. smanjenje stresa i poboljšanje dobrobiti životinja.

Uspešnost selekcije ogleda se u detaljnom razumevanju genetičkih faktora koji kontrolišu ciljane osobine. Plansko odgajivanje u kombinaciji sa optimalnom ishranom i kontrolisanim ambijentalnim uslovima, može se smatrati jednim od ključnih faktora za dobru profitabilnost i održivost proizvodnje u akvakulturi. U kopnenoj stočarskoj proizvodnji odavno je dokazano da selekcija može imati dugoročni uticaj na performanse, uključujući višestruko povećanje telesne mase i poboljšanje ukupnih performansi (Nestor i sar., 1996; Havenstein i sar., 2003). Selekcijski programi u akvakulturi su relativno novi tehnološki koraci u proizvodnom procesu gajenja riba. Počeci organizovanih selekcijskih programa kod riba vezuju se za radove ruskog naučnika Kirpičnikova na šaranu još 1949. godine, kada su postavljeni temelji selekcije u akvakulturi. Kasnije, 1970-ih godina, intenzivnije se razvijaju selekcijski programi kod salmonidnih vrsta (Kincaid i sar., 1977; Gjedrem, 2010). Nakon 1990-ih godina selekcijski programi se javljaju i kod drugih vrsta riba (Neira, 2010; Rye i sar., 2010), što ukazuje na sve širu primenu selekcijskih metoda u unapređenju ribarstva.

Na našim prostorima, glavni proizvodni ciljevi na pastrmskim ribnjacima su komercijalna proizvodnja konzumne ribe namenjene tržištu, kao i proizvodnja mlađi za poribljavanje otvorenih voda, čime se doprinosi očuvanju populacija autohtonih ribljih vrsta u rekama, jezerima i veštačkim akumulacijama, podrazumevajući da se poribljavanja sprovode uz poštovanje genetičkog integriteta recipijentne populacije (D' Ambrosio i sar., 2019; Klütsch i sar., 2021). Kako je kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*) najrasprostranjenija vrsta ribe u intenzivnom gajenju, utoliko je veća potreba za daljim genetičkim unapređenjem njenih populacija. Ova vrsta ribe ima niz bioloških karakteristika (brz rast, visoka sposobnost adaptacije i odličan kvalitet mesa) zbog čega je predmet brojnih selekcijskih istraživanja i oplemenjivačkih programa u svetu (Gjedrem, 2010; Leeds i sar., 2016), a u poslednje vreme sve više budi interesovanje istraživača i u Srbiji.

Pastrmski ribnjaci kakvi su kod nas, ali i u velikom broju drugih država, prema tehničko-tehnološkim svojstvima, predstavljaju protočne sisteme namenjene gajenju hladnovodnih vrsta riba, gde se temperatura vode kreće od 4 do 18 °C. Stabilno snabdevanje vodom visokog kvaliteta ključno je za uspeh proizvodnje. U mnogim zemljama sveta kvalitet vode je jedan od ograničavajućih faktora za razvoj akvakulture. Gajenje salmonidnih vrsta riba može biti ekonomski isplativo, ukoliko se obezbede optimalni uslovi za gajenje riba i ako se adekvatno upravlja proizvodnim procesom.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Stanje akvakulture u svetu

Svetska akvakultura predstavlja sve važniji izvor hrane namenjene ljudskoj ishrani. U velikoj meri zamenjuje potrebu za prehrambenim proizvodima poreklom od toplokrvnih životinja. Gajenje riba čini važan privredni sektor, u okviru kojeg je angažovan veliki broj ljudi širom sveta. Genetičko inženjerstvo i naučna dostignuća iz oblasti genetike, u poslednje vreme sve više doprinose inteziviranju proizvodnje, gde je pažnja usmerena na rast ribe kao i na povećanu otpornosti riba na određene bolesti. Pored genetičkog unapređenja, sve više se koriste napredna tehnologija, uključujući recirkulacione sisteme (eng. *Recirculating Aquaculture System* - RAS), automatizovane hranilice i digitalni nadzor proizvodnje, čime se postiže veća efikasnost i kontrola proizvodnih procesa (Badiola i sar., 2012).

Razlike u obimu proizvodnje između pojedinih kontinenata i područja u velikoj meri zavise od stepena ekonomskog razvoja, dostupnosti resursa i tehnološkog kapaciteta pojedinih zemalja (FAO, 2024). Ukupna proizvodnja akvatičnih životinja raste sa 19 miliona tona 1950. godine na 185 miliona tona u 2022. godini, sa prosečnom godišnjom stopom rasta od 3,2%. Procenjena ukupna vrednost celokupne globalne prodaje koja potiče iz ribarstva i akvakulture iznosila je 425 milijardi američkih dolara u 2022. godini, od čega je 296 milijardi dolara ostvareno iz prodaje u akvakulturi (FAO, 2024). Ovakva dinamika rasta ukazuje da proizvodnja u akvakulturi predstavlja najbrže rastući sektor proizvodnje hrane životinjskog porekla, koja nadmašuje druge sektore poput stočarstva (Naylor i sar., 2021). Udeo akvakulture u ukupnoj proizvodnji iznosio je oko 4-5% u periodu od 1950 do 1970. godine, nakon čega je udeo porastao na 20% tokom 1990-ih i 44% tokom 2010. godine (FAO, 2024). Istorijsku prekretnicu predstavlja 2022. godina, jer je po prvi put proizvodnja akvatičnih životinja premašila proizvodnju ulovnog ribarstva. U 2022. godini od ukupno 185 miliona tona proizvedenih akvatičnih životinja 51% potiče iz akvakulture, dok je 49% ostvareno iz ulova (FAO, 2024).

Prema FAO (2024) podacima, od ukupne proizvodnje akvatičnih životinja u 2022. godini, 62% poreklom je iz morske vode (69% iz ulova i 31% iz akvakulture), dok je 38% proizvedeno u slatkim vodama (84% iz akvakulture i 16% iz ulova). Razvoj akvakulture tokom poslednjih dvadesetak godina značajno je doprineo ukupnom rastu proizvodnje u slatkim vodama. Ovo potvrđuje činjenica da je između 1950-ih i kraja 1980-ih proizvodnja u ribarstvu i akvakulturi slatkih voda iznosila oko 12% od ukupne proizvodnje akvatičnih životinja. Vremenom se ovaj udeo povećavao na 18% tokom 1990-ih, na 26% u 2000-im i 35% u 2010-im godinama. Ulovno ribarstvo u morskim područjima i dalje predstavlja glavni izvor proizvodnje (43% od ukupne proizvodnje akvatičnih životinja u 2022. godini).

Od ukupne proizvodnje akvatičnih životinja u 2022. godini, azijske zemlje su proizvele 70%, Evropa, Latinska Amerika i Karibi 9%, Afrika 7%, Severna Amerika 3% i Okeanija 1%, dok je preostalih 10% proizvedeno u ostalim delovima sveta. Ukupna proizvodnja u ribarstvu i akvakulturi beleži značajan rast na većini kontinenata poslednjih decenija, osim u Evropi, gde je od 1980-ih zabeležen postepeni pad, uz blagi oporavak od kraja 2000-ih. Poslednjih 20 godina proizvodnja se gotovo udvostručila u Africi i Aziji (FAO, 2024). Kina je zadržala titulu najvećeg proizvođača akvatičnih životinja, sa udelom od 36% u ukupnoj svetskoj proizvodnji, a zatim slede Indija (8%), Indonezija (7%), Vijetnam (5%) i Peru (3%). Nabrojane zemlje su učestvovala sa oko 59% u ukupnoj svetskoj proizvodnji akvatičnih životinja u 2022. godini (FAO, 2024).

U 2022. godini proizvodnja akvatičnih organizama u Evropi dostigla je oko 3,5 miliona tona, što predstavlja povećanje u odnosu na 2020. godinu, kada je iznosila 3,3 miliona tona. Najveći

deo ovog povećanja potiče iz Norveške, a zatim iz Ruske Federacije. Dodatan rast zabeležen je i u zemljama poput Farskih ostrva, Islanda, Grčke, Francuske, Italije i Irske. Ipak, u istom periodu došlo je do pada proizvodnje u 17 evropskih zemalja, među kojima su Velika Britanija, Severna Irska, Nemačka, Bugarska, Danska i Ukrajina (FAO, 2024).

Struktura proizvodnje akvatičnih životinja se menjala tokom vremena, sa značajnim razlikama po regionima. Ribe su činile oko 90% ukupne proizvodnje do 1970-ih, dok je njihov udeo u 2022. godini smanjen na 75%. Na ovo smanjenje je uticalo povećanje udela mekušaca i rakova u ukupnoj proizvodnji. U istom uzrastu 2022. godine, morske ribe su učestvovala sa 38%, a slatkovodne ribe sa 33% u ukupnoj proizvodnji akvatičnih životinja. Sistemi u akvakulturi su izuzetno raznovrsni, tako da se u svetu gaji približno 425 vrsta riba (Naylor i sar., 2021).

Kalifornijska pastrmka je značajna vrsta ribe u akvakulturi, sa preko 950000 tona proizvedenih širom sveta u 2021. godini (FAO, 2022), pri čemu su Čile i Sjedinjene Američke Države vodeći proizvođači. Na evropskom kontinentu proizvodnja kalifornijske pastrmke je koncentrisana u nekoliko zemalja, među kojima se izdvajaju Norveška, Poljska, Španija i Velika Britanija. U okviru porodice salmonida, atlantski losos ima najveći udeo u ukupnoj proizvodnji sa oko 36%, dok kalifornijska pastrmka zauzima drugo mesto sa oko 11% (Váradi i sar., 2011).

2.2. Stanje akvakulture u Republici Srbiji

Razvoj akvakulture u Republici Srbiji ima dugu tradiciju koja potiče još iz XVIII veka. Prema istorijskim izvorima, Dositej Obradović je tokom boravka u Ugarskoj u Srbiju preneo ideju o gajenju toplovodnih šaranskih vrsta riba. To je dovelo do osnivanja prvog i ujedno najvećeg ribnjaka u Srbiji – ribnjak Ečka (Marković i Poleksić, 2009). Značajni institucionalni i proizvodni razvoj akvakulture u Srbiji zabeležen je tek nakon Drugog svetskog rata, kada dolazi do planskog širenja ribnjačkih površina i intenziviranja proizvodnje (Marković, 2022).

U Srbiji postoje značajne površine močvarnih zemljišta i zemljišta slabijeg kvaliteta, koja se povremeno koriste kao pašnjaci, a koja se mogu racionalno iskoristiti u svrhe osnivanja ribnjaka. Kada bi se te površine adekvatno iskoristile, površine pod šaranskim ribnjacima mogle bi se povećati više od deset puta, pod pastrmskim ribnjacima i do pet puta, dok bi se zapremina kaveznih sistema mogla uvećati i preko deset puta (Marković i sar., 2009).

U akvakulturi Srbije gaji se veći broj slatkovodnih ribljih vrsta, među kojima su: šaran (*Cyprinus carpio*), beli tolstolobik (*Hypophthalmichthys molitrix*), sivi tolstolobik (*Hypophthalmichthys nobilis*), beli amur (*Ctenopharyngodon idella*), som (*Silurus glanis*), smuđ (*Sander lucioperca*), štika (*Esox lucius*), kečiga (*Acipenser ruthenus*) i kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*). U manjoj meri se gaji linjak (*Tinca tinca*), potočna pastrmka (*Salmo trutta fario*) i mladica (*Hucho hucho*) (Stanković, 2013).

Akvakultura u Srbiji obuhvata više proizvodnih sistema, uključujući šaranske ribnjake, hladnovodne (pastrmske) ribnjake, kavezne sisteme, recirkulacione sisteme (RAS), kao i tank sisteme za gajenje riba. Uprkos raznovrsnosti načina gajenja, struktura domaće proizvodnje izrazito je koncentrisana na dve vrste i to šarana (*Cyprinus carpio*) i kalifornijsku pastrmku (*Oncorhynchus mykiss*), koje zajedno čine oko 90% ukupne proizvodnje ribe u Republici Srbiji (Marković, 2022).

Analiza podataka Republičkog zavoda za statistiku za period od 2013. do 2024. godine ukazuje na izražene strukturne promene u akvakulturi Srbije. Ukupna površina šaranskih ribnjaka beleži pad, sa 8690 ha u 2013. godini na oko 6179 ha u 2024. godini (**Tabela 1**). Suprotno od šaranskih ribnjaka, površine pastrmskih ribnjaka pokazuju trend rasta, sa 42743 m² u 2013. godini na 69299 m² u 2023. godini i blago smanjenje u 2024. godini. Procentualno gledano površine

šaranskih ribnjaka u posmatranom periodu su smanjene za oko 29%, a površine pod pastrmskim ribnjacima su uvećane za oko 62%. Iako pastrmski ribnjaci čine oko 0,1% ukupne ribnjačke površine, njihov značaj je nesrazmerno veći u pogledu intenziteta proizvodnje i ekonomske vrednosti proizvoda.

Tabela 1. Površina ribnjaka u eksploataciji u Republici Srbiji u periodu od 2013. do 2024. godine

| Godina | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Površina šaranskih ribnjaka (ha) | 8690 | 8724 | 8003 | 7684 | 7117 | 6492 | 6192 | 6483 | 6299 | 5579 | 5975 | 6179 |
| Površina pastrmskih ribnjaka (m²) | 42743 | 49583 | 65526 | 54744 | 62281 | 81411 | 78674 | 68092 | 59284 | 60135 | 69299 | 63744 |

Izvor: RZS

Pastrmski ribnjaci se nalaze u brdsko-planinskim područjima Srbije, gde postoje povoljni hidrografski i klimatski uslovi, poput niskih temperatura vode i visokog sadržaja rastvorenog kiseonika. Kalifornijska pastrmka je dominantna hladnovodna vrsta u Srbiji, zahvaljujući dobroj adaptacionoj moći, visokom prirastu i razvijenoj tehnologiji gajenja. Prema dostupnim literaturnim podacima, u Srbiji postoji 149 ribnjaka, od kojih je 77 šaranskih, a 68 pastrmskih (Marković, 2022). Ove brojke ukazuju na relativno ravnomernu raspodelu broja objekata, ali ne i proizvodnih kapaciteta.

Trendovi u proizvodnji konzumne ribe prate promene u strukturi ribnjačkih površina. Ukupna proizvodnja šarana pokazuje oscilacije i blagi pad. Proizvodnja šarana 2013. godine je iznosila 4435 t, a 2024. godine 3993 t, što predstavlja pad proizvodnje od 9,97%. Proizvodnja kalifornijske pastrmke u 2013. godini iznosi 855 t, a 2024. godine iznosila je 1789 t, što predstavlja povećanje od oko 100% (Tabela 2). Proizvodnja kalifornijske pastrmke beleži izražen rast, što ukazuje na povećanu ekonomsku važnost ove vrste u domaćoj akvakulturi (RZS).

Tabela 2. Proizvodnja šarana i kalifornijske pastrmke u Republici Srbiji u periodu od 2013. do 2024. godine

| Godina | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ukupna proizvodnja šarana (t) | 4435 | 5525 | 5598 | 5648 | 3761 | 4775 | 4180 | 4317 | 5248 | 3752 | 3595 | 3993 |
| Ukupna proizvodnja kalifornijske pastrmke (t) | 855 | 734 | 947 | 793 | 918 | 1876 | 2071 | 1247 | 1556 | 1733 | 1984 | 1789 |

Izvor: RZS

Varijacije u proizvodnji između različitih godina, naročito kod pastrmske proizvodnje, mogu se delom pripisati klimatskim promenama, pre svega sušnim periodima tokom godine, kada je smanjena količina vode (Marković, 2022). U šaranskim ribnjacima se pored šarana (*Cyprinus carpio*) sporadično gaji som (*Silurus glanis*), štika (*Esox lucius*), smuđ (*Sander lucioperca*), tolstolobik (*Hypophthalmichthys spp.*), beli amur (*Ctenopharyngodon idella*) i linjak (*Tinca tinca*), dok se u pastrmskim ribnjacima u manjoj meri gaji potočna pastrmka (*Salmo trutta*), mladica (*Hucho hucho*) i lipljen (*Thymallus thymallus*) (Marković, 2022). Njihovo gajenje je uglavnom vezano za priobljavanje otvorenih voda.

Proizvodnja riblje mladji, kako šaranske tako i pastrmske, pokazuje izražena variranja tokom posmatranog perioda (**Tabela 3**), što može imati uticaj na stabilnost i razvoj akvakulture u Srbiji. Proizvodnja šaranske mladji 2013. godine iznosila je 856 t, a 2024. godine 182 t, dok je proizvodnja pastrmske mladji u 2013. godini iznosila 69 t, a u 2024. godini 23 t. U periodu obuhvaćenom analizom (od 2013. do 2024. godine) proizvodnja šaranske mladji je imala pad za oko 79%, dok je proizvodnja pastrmske mladji beležila umanjeno za oko 66%.

Tabela 3. Proizvodnja šaranske i pastrmske mladji u Republici Srbiji u periodu od 2013. do 2024. godine

| Godina | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Šaranska mlad (t) | 856 | 489 | 349 | 297 | 471 | 538 | 596 | 238 | 286 | 408 | 210 | 182 |
| Pastrmska mlad (t) | 69 | 5 | 3 | 6 | 57 | 22 | 22 | 23 | 7 | 3 | 8 | 23 |

Izvor: RZS

Broj zaposlenih na ribnjacima u Srbiji beleži trend opadanja u periodu od 2013. do 2024. godine (**Tabela 4**). Ove brojke zaposlenih na ribnjacima ukazuju na potrebu za unapređenjem produktivnosti rada, modernizacijom opreme i uvođenjem genetičkog unapređenja u selekcijske programe.

Tabela 4. Broj zaposlenih na ribnjacima u Republici Srbiji u periodu od 2013. do 2024. godine

| Godina | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Broj zaposlenih | 948 | 837 | 910 | 900 | 730 | 765 | 748 | 765 | 839 | 722 | 738 | 675 |

Izvor: RZS

Analiza strukture i proizvodnje na ribnjacima u Srbiji ukazuje da iako postoji dugogodišnja tradicija i značajan proizvodni potencijal, akvakultura se suočava sa izazovima u vezi sa smanjenjem površina šaranskih ribnjaka, klimatskim promenama i varijacijama u proizvodnji mladji.

Kada se sagleda uvoz ribe, ukupna domaća proizvodnja, uključujući ulov iz prirodnih voda, procenjuje se da prosečna godišnja potrošnja ribe u Srbiji iznosi oko 7 kg po stanovniku (Marković i Poleksić, 2013). Najveća potrošnja ribe u Srbiji je za vreme verskih praznika, u periodu od oktobra do decembra. Kada posmatramo evropsko tržište najveća potrošnja ribe je u južnoj i severnoj Evropi, dok je u zemljama centralne i istočne Evrope potrošnja ribe nešto niža i kreće se u intervalu od 3 do 16 kg po stanovniku (Váradi i sar., 2011).

2.3. Opšte karakteristike kalifornijske pastrmke *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum,1792)

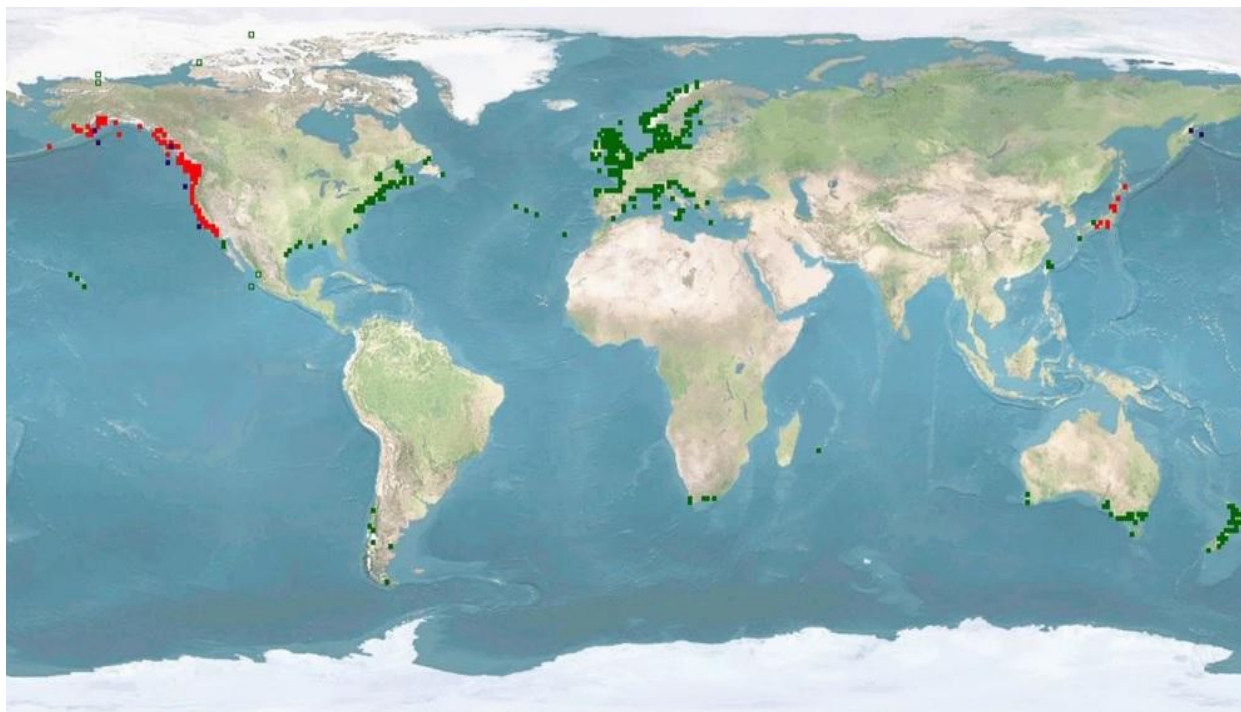
2.3.1. Taksonomija i poreklo kalifornijske pastrmke

U taksonomskom pogledu kalifornijska pastrmka (*Oncorhynchus mykiss*) pripada filumu *Chordata*, potfilumu *Vertebrata*, grupi *Actinopterygii*, redu *Salmoniformes* i familiji (porodici)

Salmonidae, koja obuhvata ekonomski najznačajnije hladnovodne vrste riba, uključujući losose i pastrmke (vrste iz rodova *Oncorhynchus* i *Salmo*) (Nelson i sar., 2016).

Rod *Oncorhynchus* danas obuhvata preko 14, a po nekim izvorima i 17 vrsta, među kojima je *Oncorhynchus mykiss*, jedna od najrasprostranjenijih riba širom sveta zbog svoje visoke tolerancije na uslove gajenja (MacCrimmon, 1971; Teletchea i Fontaine, 2012; Ma i sar., 2023; FishBase, 2024). Molekularna filogenija jasno potvrđuje da je *Oncorhynchus mykiss* bliža pacifičkim lososima, nego evrpskoj potočnoj pastrmci (*Salmo trutta*), bez obzira na njihovu morfološku sličnost (Crête-Lafrenière i sar., 2012).

Kalifornijska ili dužičasta pastrmka se ubraja među najčešće domestifikovane i najzastupljenije vrste riba u svetskoj akvakulturi (Teletchea i Fontaine, 2012; Devaa i sar., 2023). Ime je dobila po svojoj postojbini. Prirodni areal kalifornijske pastrmke obuhvata pacifičku obalu Severne Amerike, od Aljaske do Kalifornije, dok su sporadične populacije i migratorne forme zabeležene i na području Kamčatke i Ohotskog mora (Burgner i sar., 1989; Behnke, 2002). Uneta je u 99 zemalja širom sveta, što je čini najrasprostranjenijom alohtonom vrstom ribe (**Slika 1**) (Crawford i Muir, 2007). Kalifornijska pastrmka je prvi put u Evropu uvezena u periodu od 1890. do 1900. godine sa namerom da se razvije rekreativni ribolov (Crawford i Muir, 2007; Stickney i Treece, 2012). Od 1874. godine populacije ove vrste se mogu naći u vodama svih kontinenata osim Antartika. Rasprostranjena je od nivoa mora, pa do 4000 metara nadmorske visine (Bogut i sar., 2006). Njena rasprostranjenost je posledica manje osetljivosti na visoke temperature u poređenju sa drugim salmonidama, visoke stope rasta i lake manipulacije tokom procesa veštačkog razmnožavanja (Crawford i Muir, 2007; Halverson, 2008; Woynarovich i sar., 2011). Prvi put je uspešno razmnožavana u San Francisku (Crawford i Muir, 2007), pa se i danas uspešno gaji kako za proizvodnju konzumne ribe, tako i u svrhe rekreativnog ribolova. Pripada grupi najpoznatijih riba u prirodi (Tikeogly, 2000), ali je poznata i prihvaćena kao gajena vrsta u ribnjacima.



Slika 1. Prikaz geografskog rasprostranjenja kalifornijske pastrmke u svetu (crvenom bojom su obeležene površine koje pokazuju prirodno (nativno) poreklo, a zelenom bojom su obeleženi delovi sveta gde je pastrmka naseljavana) (**Izvor:** AquaMaps, 2019)

2.3.2. Morfološke karakteristike kalifornijske pastrmke

Morfološke studije otkrivaju postojanje više podvrsta kalifornijske pastrmke: priobalna pastrmka (*Oncorhynchus mykiss irideus*), crveno-prugasta pastrmka reke Kolumbije (*Oncorhynchus mykiss gairdneri*), crveno-prugasta pastrmka Velikog basena (*Oncorhynchus mykiss newberrii*), crveno-prugasta pastrmka reke Meklaud (*Oncorhynchus mykiss stonei*), crveno-prugasta pastrmka potoka Sheepheaven (*Oncorhynchus mykiss* subsp.), zlatna kalifornijska pastrmka reke Kern (*Oncorhynchus mykiss aguabonita*) i Nelsonova pastrmka iz Baja Kalifornije (*Oncorhynchus mykiss nelson*) (Simmons i sar., 2010). Podvrste se razlikuju po boji tela, prisustvu, širini i boji bočne pruge, rasporedu pegavosti, kao i po adaptaciji na specifične uslove staništa (Behnke, 2002). Međutim, u modernoj sistematici neke od navedenih podvrsta su klasifikovane kao zasebne vrste unutar roda *Oncorhynchus* (npr. zlatna kalifornijska pastrmka; FishBase). Dok je neimenovana podvrsta iz potoka Sheepheaven (*Oncorhynchus mykiss* subsp), uz više lokaliteta iz gornjeg toka reke Meklaud, imenovana kao *Oncorhynchus mykiss calisulat* na osnovu morfoloških i genetičkih istraživanja (Campbell i sar., 2023).

Telo kalifornijske pastrmke je vretenastog oblika, blago spljošteno i gusto pokriveno sitnim krljuštima. Zbijen i vretenast oblik tela joj omogućava da brzo pliva i da preskače brane i prepreke. Duž kičme ima 60-66 pršljenova. Leđno peraje ima 10-12 mekih zrakova, dok analno peraje sadrži 8-12 mekih zrakova (FishBase,2024). Repno peraje je građeno od 19 zrakova, a adipozno peraje je najčešće oivičeno tamnom ivicom. Boja tela je plavičasta do maslinasto zelena, a po perajima su joj rasute male crne pege, dok se duž srednjeg dela tela, od glave do repnog peraja pruža pojas duginih boja, sa dominantnom crveno-narandžastom nijansom (**Slika 2**), koji je posebno izražen u periodu polne zrelosti (Marković i Tutundžić, 2003). Dugine boje koje se pružaju dužinom tela, počevši od škržnih poklopaca, do analnog peraja, čine je prepoznatljivom, po čemu je i dobila naziv - dužičasta pastrmka. Veliki broj crnih pega je rasut po glavi, leđima, leđnom, adipoznom i repnom peraju (Glamuzina i sar., 2013). Svadbene kvržice nisu razvijene, ali se kod mužjaka tokom perioda mresta mogu uočiti promene na glavi i ustima. U slatkoj vodi, telo kalifornijske pastrmke je tamnozeleno, žutozeleno ili braon boje sa tamnim tačkama na telu, leđnom peraju i repu i imaju ružičastu ili crvenu traku koja se prostire duž tela. U morskoj vodi boja tela joj je srebrnasta, sa gornjom polovinom tela koja je tamnija i ima tamne tačkice iznad bočne linije (McMillan i sar., 2011). Intenzitet boje varira u zavisnosti od staništa, veličine jedinke i reproduktivnog statusa. Jedinke koje naseljavaju potoke obično su tamnije i izraženije obojene, dok su jezerske populacije nešto svetlijih nijansi. Kalifornijska pastrmka može da dostigne dužinu do 122 cm i telesnu masu od oko 25,9 kg (FishBase,2024).



Slika 2. Kalifornijska pastrmka (levo – mužjak, desno – ženka) (foto: V. Golubović)

Posmatrajući spoljašnji izgled kalifornijske pastrmke (fenotip), dosta je slična potočnoj pastrmci. Telo joj je malo više i znatno lateralno spljošteno u odnosu na potočnu pastrmku. Od autohtone potočne pastrmke se razlikuje i po morfološkim obeležjima, a posebno po boji tela koja je u osnovi maslinasto zelena do smeđa po leđnom delu, srebrno siva po bokovima i stomaku. Boje pega (mrlja) pomažu prilikom određivanja različitih rodova pastrmki. Kalifornijska pastrmka ima samo crne pege po telu, dok potočna pastrmka može imati crne, crvene i narandžaste pege

(Klemetsen i sar., 2003). Takođe, kalifornijska pastrmka ima dugin pojas preko bokova, što nije slučaj kod potočne pastrmke. Glava kalifornijske pastrmke je uža, a usta su joj manja. Peraja su im po obliku dosta slična, ali se razlikuju po obojenosti, jer su kod kalifornijske pastrmke neparna prekrivena crnim tačkama, dok je kod potočne pastrmke to samo slučaj kod leđnog peraja, na kome se osim crnih mogu nalaziti i crvene tačke. Potočna pastrmka i kalifornijska su slične kada su u pitanju i navike u ishrani (hrane se uglavnom beskičmenjacima na ili ispod površine vode). Životni ciklusi su im takođe dosta slični, osim što se u prirodi kalifornijska pastrmka mresti u rano proleće, dok se potočna pastrmka mresti u kasnu jesen ili zimu (Jonsson i Jonsson, 2011).

Polni dimorfizam je izuzetno izražen. Na prvi pogled na to nam ukazuje zaobljeni predni deo glave kod ženki, a zašiljeni oblik kod mužjaka. Donja vilica se kod mužjaka završava kukasto, a kod ženki je ravna. U odnosu na ženke mužjaci imaju dužu glavu, mandibulu i maksilu. Tokom polne zrelosti mužjaci imaju duža grudna, repno i adipozno peraje. Mužjaci su polno zreli već u drugoj godini, dok ženke polnu zrelost najčešće dostižu u trećoj godini, što zavisi od temperature vode, ishrane i brzine rasta. U akvakulturi kod mužjaka reproduktivna aktivnost traje oko 20 dana, a kod ženki traje oko osam dana u toku godine. U Severnoj Americi, odakle potiče, mresti se u periodu od februara do juna (Sloat i Reeves, 2014), a kod nas se mrest dešava od oktobra do marta (uglavnom od decembra do marta – u akvakulturi), u zavisnosti od vremenskih uslova (Singh i sar., 2016). Prosečna plodnost se kreće od 1500 do 2600 jaja po kilogramu telesne mase (Tyler, 1996; Woynarovich i sar., 2011), što je oko 14-20% od ukupne telesne mase ženke (Hristić i Bunjevac, 1991). Procenat izleganja je obično iznad 90%, dok se veličina jaja (ikre) kreće od 4,5 do 6 mm u zavisnosti da li su mlađe ili starije ženke (mlađe ženke daju nešto sitnija jaja u poređenju sa starijim ženkama). Boja ikre je žuto-narandžasta (Marković i Tutundžić, 2003). U prirodnim uslovima, mrest se odvija u kamenitim ili šljunkovitim staništima brzih reka ili potoka. Ženke formiraju gnezdo, tu polažu ikru i nakon oplodnje zatrpavaju je sitnim šljunkom i peskom, čime obezbeđuju stabilan protok vode i aeraciju potrebnu za normalan razvoj embriona.

S obzirom da je kalifornijska pastrmka grabljivica (karnivor), njen sistem organa za varenje je prilagođen iskorišćavanju hrane životinjskog porekla. U prirodnim uslovima odrasle jedinke se hrane raznovrsnim organizmima, uključujući vodene i kopnene insekte, organizme koje nosi vodena struja (vodeni drift), bentosne organizme, riblja jaja i sitne ribe. Značajan deo u ishrani imaju slatkovodni račići, bogati karotenoidima koji doprinose karakterističnoj ružičasto-narandžastoj boji mesa (Storebakken i sar., 1987). Na ribnjacima odlično prihvata komercijalnu hranu (Marković i Tutundžić, 2003). Dobro je razvijen želudac, a crevo je kratko sa dosta piloričnih nastavaka. Pilorični nastavci povećavaju površinu za resorpciju svarene hrane (Marković i Tutundžić, 2003). Ima jake vilice, pune oštih, unazad savijenih zuba. Zubi se nalaze u predelu nepčane kosti, maksile i mandibule, na jeziku i na međuviličnim kostima (Glamuzina i sar., 2013).

Telesna masa pri plasmanu na tržište značajno varira između različitih geografskih područja, krećući se od 200-250 g u mediteranskim zemljama, preko 400-600 g u Sjedinjenim Američkim Državama, pa sve do 2 kg i više u državama severne Evrope (Fornshell, 2002; Kurta i sar., 2023). U Sjedinjenim Američkim Državama postoji interesovanje za prodaju većih riba od 1 kg i to kao jedinki za priplod (mužjaci se prodaju mlađi od dve godine, a ženke starije od dve godine) (Aussanasuwannakul i sar., 2011).

2.3.3. Staništa kalifornijske pastrmke

Kalifornijska pastrmka predstavlja tipičnu hladnovodnu salmonidnu vrstu. Na području Balkana najčešće se gaji u vodama čija temperatura vode tokom leta ne prelazi 18 °C, a zimi ne pada ispod 2 °C (Bogut i sar., 2006; Glamuzina i sar., 2013). Naseljava bistre i hladne tokove, planinske i brdske potoke, reke i jezera sa čistom vodom visokog kvaliteta (Picker i Griffiths, 2011). Uobičajna staništa su brzi tokovi sa brzom cirkulacijom vode, sa dovoljnim količinama

rastvorenog kiseonika i sa šljunkovitim ili kamenitim dnom (naročito u periodu mresta). Nakon izvaljivanja, larve često biraju mirnije zone, kao što su plićaci, područja sa rastinjem ili zaklonom, tamo gde je protok slabiji (Yao i sar., 2017). Ovakva staništa im omogućavaju neophodne uslove za normalan rast, reprodukciju i preživljavanje. Određene forme kalifornijske pastrmke, kao i potočne pastrmke, imaju sposobnost da migriraju u more, vraćajući se da se mreste u slatkoj vodi, na šljunkovitom dnu (anadromni životni ciklus).

2.3.4. Sistemi gajenja kalifornijske pastrmke

Monokultura je najčešća praksa kada je u pitanju gajenje pastrmki, pri čemu se intenzivni sistem u većini slučajeva smatra neophodnim da bi se ostvarila ekonomska opravdanost proizvodnje (Cocan, 2008). Kalifornijska pastrmka se može gajiti u različitim akvakulturnim sistemima, uključujući intenzivne sisteme kao što su protočni ribnjaci, kavezi u otvorenim vodama i recirkulacioni akvakulturni sistemi (RAS). Intenzivni protočni ribnjaci predstavljaju tradicionalni oblik intenzivne proizvodnje pastrmke, gde se voda stalno osvežava i kontroliše kako bi se obezbedili optimalni uslovi za rast ribe (temperatura vode, koncentracija rastvorenog kiseonika i amonijaka). Ovaj sistem omogućava postizanje velike gustine nasada i relativno kontinuiran rast ribe. Gajenje pastrmki u kavezima, najčešće u jezerima, omogućava smanjenje troškova za objekte u poređenju sa protočnim ribnjacima. Prednost kaveznog sistema je u direktnom korišćenju prirodnih ekosistema i lakšem povećanju obima proizvodnje. Međutim, ovaj sistem je podložniji spoljašnjim faktorima, kao što su promene temperature vode, zagađenje, bolesti i interakcija sa divljim populacijama riba. Recirkulacioni sistemi u akvakulturi predstavljaju najsavremeniji oblik intenzivne proizvodnje, gde se voda u potpunosti ili delimično prečišćava kroz filtere i biofiltere. Omogućava preciznu kontrolu svih spoljašnjih faktora. Recirkulacioni akvakulturni sistemi omogućavaju visoke gustine nasada i produženu sezonu proizvodnje, nezavisno od spoljašnjih klimatskih uslova. Kod ovog sistema su potrebne značajne početne investicije, pa je ekonomska opravdanost često u vezi sa proizvodnjom visokovrednih riba (FAO, 2018).

U Severnoj Americi, Velikoj Britaniji, Danskoj, Francuskoj i Italiji kalifornijska pastrmka se uglavnom gaji u slatkim vodama, najčešće koristeći protočne sisteme. Nasuprot tome, u Čileu i skandinavskim zemljama gajenje započinje u slatkoj vodi, a zatim se riba premešta u kaveze koji se nalaze u morima radi daljeg gajenja (Hardy, 2002).

Za gajenje kalifornijske pastrmke optimalni temperaturni raspon se kreće od 12 °C do 16 °C. Inkubacija ikre zahteva nešto niže temperature, optimalno od 8 °C do 10 °C, dok se larve najbolje razvijaju pri temperaturama od 10 °C do 12 °C (Marković i Tutundžić, 2003). Iako se kalifornijska pastrmka tradicionalno smatra hladnovodnom vrstom, poslednja istraživanja pokazuju da pojedine populacije imaju značajnu termalnu fleksibilnost. Tako je studija Dressler (2023) godine pokazala da neke populacije podnose temperature od 23 °C do 25 °C. Minimalne koncentracije rastvorenog kiseonika potrebne za normalno funkcionisanje riba u otvorenim vodama iznosi oko 4 mg/L, dok se u intenzivnim sistemima preporučuju vrednosti oko 6 mg/L. Dobro podnosi pH vrednosti u intervalu od 6,5 do 8,2, a vrednosti amonijaka do 0,01 mg/L (Bogut i sar., 2006).

2.3.5. Nutritivna vrednost mesa kalifornijske pastrmke

Salmonide spadaju u ribe sa umerenim sadržajem masti, pri čemu udeo lipida u njihovom mesu obično iznosi između 2 i 7% (Jobling, 2001). Masne kiseline iz n-3 grupe imaju ključnu ulogu u rastu kalifornijske pastrmke, pri čemu njihova zastupljenost u mišićima direktno zavisi od sastava lipida u hrani (Chen i sar., 2008; Spirić i sar., 2009).

Riba namenjena ljudskoj potrošnji dostupna je u različitim oblicima: sveža, dimljena, filetirana, konzervisana ili zamrznuta. U nutritivnom pogledu, meso kalifornijske pastrmke

odlikuje se visokim kvalitetom i predstavlja važan izvor lako svarljivih proteina, esencijalnih masnih kiselina i mikronutrijenata. Prosečan sadržaj proteina u mesu je 18,8-19,3%, masti 1,2-8,8%, vode 73,0-78,0% i mineralnih materija 1,2% (Vladau i sar., 2008). Nizak udeo vezivnog tkiva u mesu doprinosi njegovoj mekoći i sočnosti. Zbog svoje mekoće, sočnosti i nutritivnog sastava, meso kalifornijske pastrmke se preporučuje u ishrani dece, starih i obolelih osoba (Vladau i sar., 2008; Ferzola i sar., 2025). Riblje meso predstavlja značajan izvor n-3 polinezasićenih masnih kiselina (PNMK), koje imaju povoljan uticaj na zdravlje čoveka (Von Shacky, 2001; Mozaffarian i sar., 2004; Sahena i sar., 2009). Meso kalifornijske pastrmke je posebno cenjeno zbog visokog učešća n-3 PNMK koje imaju uticaj na sprečavanje nastanka kardiovaskularnih bolesti (Kris-Etherton i sar., 2002; Mozaffarian i Rimm, 2006; Myneris-Perxachs i sar., 2010). Istraživanja na temu ljudskog zdravlja potvrđuju da redovna konzumacija ribljeg mesa i ribljih proizvoda smanjuje rizik od pojave aritmije, moždanog udara, zapaljenskih procesa u organizmu, čak ima uticaj na regulaciju nivoa šećera u organizmu (Kris-Etherton i sar., 2002; Innes i Calder, 2020). Zbog povoljnog nutritivnog sastava mesa, kalifornijska pastrmka se smatra jednom od najvrednijih vrsta riba u ljudskoj ishrani, a FAO je svrstava u grupu visokokvalitetnih proizvoda dobijenih iz akvakulture, koji mogu doprineti unapređenju javnog zdravlja (FAO, 2020).

2.4. Seleksijski programi u akvakulturi

Seleksijski programi predstavljaju jedan od ključnih pokretača savremenog razvoja akvakulture i značajno utiču na povećanje celokupne produktivnosti proizvodnje (Duncan i sar., 2013; Gjedrem i Robinson, 2014). Njihov značaj se najviše primećuje u intenzivnim sistemima gajenja, gde se najmanja genetička unapređenja mogu kumulirati i rezultirati visokim ekonomskim efektima na duži period. Utvrđeno je da seleksijski programi imaju veći dugoročni doprinos kada je u pitanju povećanje prinosa, nego optimizacija ishrane ili unapređenje sistema upravljanja (D'Agaro i sar., 2021). Pored nedostataka koje poseduju seleksijski programi kod većine vrsta riba koje se gaje u akvakulturi, realno je očekivati da će se seleksijsko gajenje primenjivati u sve većem obimu (Gjedrem i Kolstad, 2012).

Poslednjih godina u akvakulturi je aktivan veći broj seleksijskih programa namenjenih unapređenju proizvodnih osobina kalifornijske pastrmke (Boudry i sar., 2021). Gjedrem i Robinson (2014) su utvrdili da u Evropi postoji 37 odgajivačkih programa, od kojih većina sprovodi familijsku selekciju, što obezbeđuje prosečan genetički napredak od 12% po generaciji (Gjedrem, 2005; Kause i sar., 2005; Martinez i sar., 2006; Leeds i sar., 2016). Ovi programi omogućavaju kontrolu inbridinga, precizno merenje fenotipskih osobina i izbor najboljih familija. U akvakulturi, seleksijsko gajenje riba je relativno novo, u poređenju sa stočarskom proizvodnjom, gde se seleksijski rad primenjivao mnogo ranije. Počeci selekcije u akvakulturi vezuju se za programe oplemenjivanja šarana, koji su razvijeni još sredinom XX veka u Rusiji, Mađarskoj, Poljskoj, Izraelu i drugim evropskim zemljama, dok tradicija selekcije koi šarana u Japanu datira još iz XIX veka. Savremeni organizovani seleksijski programi intenzivnije se razvijaju od 1970-ih godina, prvenstveno kod salmonidnih vrsta (Kincaid i sar., 1977; Gjedrem, 2010). Od 1990-ih godina se javljaju i kod drugih vrsta, kao što su tilapija, orada, som (Neira, 2010; Rye i sar., 2010; Yáñez i sar., 2022).

Optimalno korišćenje raspoloživih genetičkih resursa kroz plansko odgajivanje predstavlja ključni mehanizam za unapređenje produktivnosti, efikasnosti i održivosti akvakulture. Među prvim autorima koji je istakao potencijal genetičkog unapređenja u ribarstvu bio je Gjedrem (1975), koji je ukazao na mogućnost povećanja rasta, poboljšanja osobina zdravlja i efikasnije konverzije hrane kroz seleksijske programe. Gall (1990) naglašava važnost primene kvantitativne genetike i standardizovanih metoda selekcije u komercijalnom oplemenjivanju riba, dok Gjølén i Bentsen (1997) pružaju rezultate napretka kroz programe gajenja lososa. Hulata (2001) je dao sveobuhvatan pregled tadašnjih klasičnih i savremenih metoda, uključujući hibridizaciju, poliploidiju i rane

pokušaje primene molekularnih markera u akvakulturi. Kasnije, Fjalestad i sar. (2003) naglašavaju nove mogućnosti u selekciji, posebno u pogledu otpornosti na bolesti. Uloga molekularnih metoda u savremenom oplemenjivanju dodatno je naglašena u radu Yáñez i sar. (2022), koji pružaju sveobuhvatan pregled primene genomike i bioinformatike u selekciji riba, uključujući lososa, pastrmku i tilapiju. Navode da genomska selekcija može znatno skratiti generacijski interval i povećati selekcijski odgovor.

Selekcijski programi u akvakulturi, slično sistemima koji se primenjuju u stočarstvu i biljnoj proizvodnji, oslanjaju se na precizno vođenje pedigrea, koji će se koristiti prilikom formiranja roditeljskih parova. Programi zasnovani na kombinaciji punih srodnika (jedinke koje imaju oba zajednička roditelja), polubračće i polusestara, predstavljaju dominantan pristup u unapređenju genetičkih osobina kod salmonidnih vrsta (Chavanne i sar., 2016). Međutim, ovakav pristup može dovesti do povećanja nivoa inbridinga i smanjenja genetičke varijabilnosti. Prednost ovog dizajna jeste mogućnost selekcije za osobine koje se ne mogu direktno meriti na živim jedinkama, kao što su klanične osobine ili otpornost na bolesti (Gjedrem, 2010).

2.5. Selekcija u cilju poboljšanja proizvodnih osobina

Selekcijom se ne stvaraju novi aleli, već se menjaju njihove frekvencije u populaciji, što rezultira povećanjem učestalosti poželjnih alela i smanjenjem učestalosti alela sa negativnim dejstvom (Gjedrem i Baranski, 2009). Odabirom budućih matica (roditelja) na osnovu morfoloških karakteristika, omogućava se prenošenje poželjnih osobina na potomstvo, što bi imalo uticaj na povećanje telesne mase i na ukupnu efikasnost proizvodnje (Cocan i sar., 2010). Najefikasnija selekcija bila bi ona u kojoj bi se mogao izmeriti stvarni genotip životinje, ali za većinu osobina moguće je izmeriti samo fenotip. Poboljšanje stope rasta direktno utiče na efikasnije iskorišćavanje hrane, što dovodi do manjeg utroška hrane po jedinici prirasta. Hrana predstavlja više od polovine troškova u proizvodnji, zato je od velike ekonomske važnosti (Gjedrem i Baranski, 2009; Besson i sar., 2014).

Predselekcija na telesnu masu može uticati na smanjenje broja jedinki koje će se gajiti do prvog mresta. Primena predselekcije unutar familija podrazumeva obeležavanje jedinki sa najvećom telesnom masom, nakon čega se završna selekcija obavlja na osnovu procenjenih priplodnih vrednosti i telesne mase u uzrastu polne zrelosti (Sae-Lim i sar., 2013).

Genetička unapređenja se najčešće ostvaruju kroz dugoročna istraživanja koja obuhvataju veliki broj jedinki i više uzastopnih generacija, zbog čega je vremenski period do dobijanja primenljivih rezultata često veoma dug. U poređenju sa mnogim kopnenim životinjama, kalifornijska pastrmka ima visoke reproduktivne sposobnosti, što omogućava veći selekcijski pritisak i brži genetički napredak. Visoka plodnost karakteristična za gajene ribljih vrsta, u uslovima intenzivne selekcije usmerene isključivo na ekonomske osobine, može dovesti do ubrzanog rasta stope inbridinga i smanjenja opšte vitalnosti populacije (Saura i sar., 2017). Zbog velike globalne potražnje za ribljim proizvodima, selekcijsko gajenje ima ključnu ulogu u održavanju i unapređenju produktivnosti akvakulture (Gjedrem i sar., 2012, Yáñez i sar., 2022).

Iako ima relativno kratku istoriju, selekcijsko gajenje riba prati razvoj savremene akvakulture. Kalifornijska pastrmka uvezena iz SAD-a predstavljala je osnov savremenog odgajivačkog materijala (Gall i Crandell, 1992; Gross i sar., 2007). Komercijalno gajenje kalifornijske pastrmke počelo je 1950-ih godina (Paisley i sar., 2010). Tokom 1970-ih godina mrestilišta počinju da sprovode selekciju sa ciljem poboljšanja osobina od velikog značaja (brzi prirast, rano polno sazrevanje) (Aulstad i sar., 1972; Gjedrem, 1985). Globalne procene ukazuju da oko 8-12% svetske proizvodnje u akvakulturi potiče od genetički poboljšanih linija riba (Gjedrem i sar., 2012), dok je početkom 2000-ih godina taj udeo iznosio nešto manje od 5% (Gjedrem i

Baranski, 2009), što ukazuje na snažan rast primene selekcijskih programa. Novija istraživanja ukazuju na postepen porast primene selekcijskog oplemenjivanja (Houston i sar., 2022).

Glavni cilj odgajivačkih programa koji se primenjuju u populacijama kalifornijske pastrmke jeste poboljšanje stopa rasta. Seleksijski odgovor za telesnu masu varira između 7% (Kause i sar., 2005) i 10-13% po generaciji (Gjerde 1986; Janhunen i sar., 2012; Janssen i sar., 2017). Odgovor na selekciju za telesnu masu merenu sa pet meseci starosti u proseku je iznosio 10,6%, za osam meseci starosti 9,8%, za deset meseci starosti 12,7%, a za 13 meseci starosti je 11,9% (Gjedrem, 2005; Martinez i sar., 2006; Leeds i sar., 2016). Upoređujući sa nilskom tilapijom, ukupni genetički napredak nakon tri generacije je iznosio 36,6%, u proseku 12,3% po generaciji (jedna godina po generaciji) (Hamzah i sar., 2008).

Kod 67 naučnih istraživanja koje su pretražili Gjedrem i Rye (2018), odgovor na selekciju se pratio u kratkom vremenskom periodu (2,8 generacija u proseku). U gotovo svim odgajivačkim programima odabir se vrši na osnovu telesne mase (Chavanne i sar., 2016). Telesna masa u selekcijskim programima se više koristi zbog lakoće meranja, visokog heritabiliteta i zbog njenog poboljšanja, a ne zbog stvarne ekonomske dobiti, jer povećava ukupnu količinu proizvedene ribe, a nema direktan uticaj na efikasnost proizvodnje (Gjedrem, 2012; Besson i sar., 2017). Zbog toga je veće interesovanje usmereno na koeficijent konverzije hrane, kao osobine sa izuzetnim ekonomskim značajem. U praksi se retko primenjuje direktna selekcija za konverziju hrane, zbog nemogućnosti tačnog evidentiranja individualnog uzimanja hrane kod riba tokom dužeg vremenskog perioda (de Verdal i sar., 2017). Iz tog razloga većina odgajivača očekuje da poboljša efikasnost iskorišćavanja hrane kroz selekciju na stopu rasta, polazeći od pretpostavke da će ribe sa visokom stopom rasta bolje iskorišćavati hranu (Kause i sar., 2006; Knap i Kause, 2018; Besson i sar., 2020). Mali broj studija je ispitivao uticaj visoke konverzije hrane kod riba sa visokom stopom rasta. Nekoliko istraživanja ukazuje na pozitivnu vezu između visoke stope rasta i bolje konverzije hrane (Thodesen i sar., 1999; Yamamoto i sar., 2014), dok druga istraživanja nisu potvrdila takvu povezanost (Sanchez i sar., 2001; Ogata i sar., 2002).

Pored stope rasta i konverzije hrane, mnoge druge osobine su deo odgajivačkih programa. Često se razmatraju osobine, kao što su: otpornost na bolesti, morfologija, stopa preživljavanja i kvalitet mesa za preradu (Chavanne i sar., 2016). Otpornost na bolesti i stopa preživljavanja su osobine od interesa kada je u pitanju profitabilnost i održivost proizvodnje (Yáñez i sar., 2014). Za potrošače je izuzetno važan kvalitet proizvoda, sa akcentom na procenat masti u mesu, koja utiče na ukus i teksturu (Mørkøre i sar., 2001). Morfologija je značajna kako za poboljšanje prerade mesa (Sang i sar., 2009; Haffray i sar., 2013; Prchal i sar., 2018; Vandeputte i sar., 2019; Blay i sar., 2021), tako i za prihvatanje od strane potrošača (Kause i sar., 2003; Colihueque i Araneda, 2014).

Odgajivački programi kod riba potvrđuju značajne pozitivne genetičke odgovore za više uključenih osobina, među kojima se izdvajaju povećanje stope rasta, promene u rastu tokom perioda polnog sazrevanja i unapređenje otpornosti na razne bolesti (O'Flynn i sar., 1999; Bolivar i Newkirk, 2002; Vandeputte i sar., 2002). Uključivanje većeg broja osobina u selekcijski program ima ekonomsku opravdanost, s obzirom na to da se u proizvodnim uslovima retko teži poboljšanju samo jedne osobine. U suprotnom, selekcija koja je usmerena na samo jednu proizvodnu osobinu može izazvati neželjene genetičke promene kod drugih proizvodnih osobina (Alderson, 2001). Kako bi se obezbedila stabilna proizvodnja genetički kvalitetnog materijala, potrebno je kontinuirano praćenje selekcijskih i molekularnih trendova za veći broj osobina (Gall i sar., 1993; Mu i sar., 2025).

2.6. Fenotipska i genetička varijabilnost proizvodnih osobina

Fenotipska i genetička ispoljenost proizvodnih osobina kod kalifornijske pastrmke predstavlja osnovu za sprovođenje pouzdanih i efikasnih odgajivačkih programa. Genetička varijabilnost unutar populacije ključna je za selekcijski odgovor, a mnoga istraživanja potvrđuju da kalifornijska pastrmka poseduje širok spektar aditivne genetičke varijacije za osobine od ekonomskog značaja. Prema Gjedrem (2012), osobine rasta predstavljaju opravdan izbor za selekciju, budući da se odlikuju relativno velikom fenotipskom varijabilnošću, sa koeficijentom varijacije od oko 30%, što ukazuje na dovoljan prostor za selekcijsko poboljšanje. Genetička varijabilnost telesne mase i stope rasta praćene su u brojnim istraživanjima širom sveta (Ponzoni i sar., 2005; Charo-Karisa i sar., 2006; Rezk i sar., 2009; Thodesen i sar., 2011; Sae-Lim i sar., 2015). Pored osobina rasta, novija istraživanja ukazuju na značaj genetičke varijabilnosti u efikasnosti iskorišćavanja hrane, otpornosti na bolesti, morfološkim osobinama, kvalitetu mesa (Kause i sar., 2016). Visok stepen genetičke varijabilnosti zabeležen je i kod osobina u vezi sa preživljavanjem i tolerancijom na stres, koje postaju sve važnije u uslovima klimatskih promena (Debes i sar., 2021). Navedene činjenice potvrđuju da kalifornijska pastrmka poseduje visok potencijal za genetičko unapređenje (Sae-Lim i sar., 2015), a novije studije pokazuju da se kombinovanjem fenotipske i genomske selekcije može ostvariti genetički napredak i istovremeno očuvati genetička raznovrsnost (Garcia i sar., 2023).

2.7. Uticaj faktora spoljašnje sredine na proizvodne osobine

Proizvodne osobine kalifornijske pastrmke, kao što su brzina rasta, koeficijent konverzije hrane, reproduktivne karakteristike, preživljavanje i kvalitet mesa u velikoj meri zavise od interakcije genetičkih faktora i faktora spoljašnje sredine. Razumevanje relativnog doprinosa genetičkih faktora i faktora sredine, kao i njihove međusobne interakcije, ključno je za optimizaciju odgajivačkih programa i razvoj održivih sistema gajenja riba (Pante i sar., 2002; Rutten i sar., 2005; Sae-Lim i sar., 2013).

Faktori okoline imaju presudan uticaj na ispoljavanje proizvodnih osobina kod kalifornijske pastrmke i drugih salmonida, jer značajno modifikuju fenotipsku ekspresiju genetičkog potencijala na rast, konverziju hrane, preživljavanje i reprodukciju. Brojna istraživanja potvrđuju da varijabilnost proizvodnih osobina u većoj meri potiče od faktora sredine nego od genetičkih faktora, naročito u intenzivnim sistemima gajenja (Janssen i sar., 2017; Houston i sar., 2020).

Temperatura vode predstavlja dominantan abiotički faktor koji reguliše metabolizam, brzinu rasta i efikasnost korišćenja hrane kod salmonida. Kalifornijska pastrmka ostvaruje maksimalni rast u temperaturnom opsegu od 13 do 16°C, dok dugotrajna izloženost temperaturama iznad 18-20 °C dovodi do značajnog smanjenja specifične stope rasta, povećanog mortaliteta i povećanja konverzije hrane (Janhunnen i sar., 2016; Verhille i sar., 2016). Istraživanja koja su sprovedena kod selekcionisanih linija pastrmke dodatno ukazuju na prisustvo izražene interakcije između genotipa i temperature (GxE) (Sae-Lim i sar., 2014). Različite genetičke linije pastrmki pokazuju značajne razlike u performansama rasta pri različitim temperaturama, što ukazuje da genotip koji ima optimalni rast pri optimalnim temperaturama ne mora zadržati superiornost pri povišenim temperaturama (Fishback i sar., 2002).

Koncentracija kiseonika ima veliki uticaj na fiziološke procese i proizvodne performanse kod pastrmke. Wedemeyer (1996) navodi da koncentracija kiseonika ispod 6 mg/L dovodi do smanjenog rasta, dok novija istraživanja ukazuju da kratkotrajni nedostatak optimalnih koncentracija kiseonika, mogu imati dugoročne negativne posledice na rast i imunološki status riba (Remen i sar., 2016; Hvas i Oppedal, 2019). Pored kiseonika, toksična azotna jedinjenja predstavljaju značajan stresogeni faktor u intenzivnim sistemima gajenja. Emerson i sar. (1975) su dokazali da

koncentracije nejonizovanog amonijaka smanjuju prirast i oštećuju respiratorne površine kod pastrmki, dok novija istraživanja u RAS sistemima potvrđuju da dugotrajna izloženost povišenim koncentracijama amonijaka i nitrita dovodi do smanjene efikasnosti rasta i povećane varijabilnosti telesne mase (Meinelt i sar., 2010; Davidson i sar., 2014).

Gustina nasada direktno utiče na ponašanje, stresni odgovor i proizvodne osobine gajenih riba. Ellis i sar. (2002) su utvrdili da povećanje gustine nasada izaziva povećanu agresiju i socijalnu hijerarhiju, što rezultira neujednačenim rastom. Neadekvatne gustine nasada dovode do povećane konverzije hrane i smanjenja prosečne telesne mase, čak i u uslovima adekvatnog hranjenja (North i sar., 2006; Ryet i sar., 2008).

Pored osnovnih faktora sredine, proizvodne osobine kalifornijske pastrmke značajno su uslovljene i polom jedinke, koji predstavlja važan izvor varijabilnosti osobina. Brojna istraživanja kod salmonida ukazuju da mužjaci i ženke mogu ispoljavati različite obrasce rasta, telesne mase i efikasnosti iskorišćavanja hrane, naročito u uzrastu približavanja polnoj zrelosti. Ove razlike povezane su sa hormonskim promenama i različitom raspodelom energije između somatskog rasta i reprodukcije, zbog čega se pol uključuje kao fiksni faktor u genetičko-statističkim modelima za procenu proizvodnih osobina (Barson i sar., 2015). Godina mresta predstavlja kompleksan faktor koji obuhvata međugeneracijske razlike uslova gajenja, uključujući varijacije u temperaturi vode, raspoloživosti hrane, kvalitetu vode i zdravstvenog statusa populacije. Istraživanja pokazuju da uslovi povezani sa različitim godinama mresta doprinose značajnim razlikama u rastu riba (Ponzoni i sar., 2011; Jonsson, 2024). Efekat tanka (bazena) se odnosi na varijabilnost proizvodnih osobina između jedinki koje su gajene u različitim tankovima, gde su osnovni uslovi sredine, kao što su temperatura, kvalitet vode i ishrana, u velikoj meri standardizovani, ali ne i potpuno identični. Iako se ovakvi sistemi gajenja smatraju kontrolisanim, mikrorazlike između bazena mogu dovesti do značajnih razlika u fenotipskoj ispoljenosti proizvodnih osobina (Joshi i sar., 2018).

2.8. Naslednost proizvodnih osobina

Koeficijent naslednosti ili heritabilitet (h^2) predstavlja jedan od najvažnijih parametara kvantitativnih osobina, koji ima značajan uticaj na stvaranje genetički visokovrednih populacija. Njegove vrednosti se kreću od 0 do 1 (Vissher i sar., 2008). Vrednosti heritabiliteta se klasifikuju u tri kategorije i to: niske, srednje i visoke. Niska vrednost heritabiliteta se kreće od 0 do 0,20 (reproduktivne osobine i osobine vezane za dugovečnost), srednja vrednost od 0,20 do 0,40 (osobine prirasta, porast), dok se visoka vrednost heritabiliteta kreće iznad 0,40 (osobine kvaliteta mesa) (Đedović, 2015). Na osnovu ovih vrednosti moguće je proceniti potencijal selekcije, jer heritabilitet predstavlja udeo aditivne genetičke varijanse u ukupnoj fenotipskoj varijansi. Procena genetičkih parametara, uključujući naslednost i genetičke korelacije, ključna je za dizajniranje i optimizaciju odgajivačkih programa, jer direktno utiče na efikasnost selekcije i očekivani genetički napredak (Gunadi i sar., 2021).

Vrednost heritabiliteta je dobar pokazatelj značaja fenotipske ispoljenosti određenih osobina životinja pri izboru roditeljskih parova za narednu generaciju. Fenotip životinje za određenu osobinu je dobar pokazatelj priplodne vrednosti životinje ukoliko vrednost heritabiliteta za tu osobinu prelazi 0,40. Nasuprot tome, kod osobina čija je vrednost heritabiliteta niža od 0,15, fenotipska izraženost nije dovoljno pouzdana za identifikaciju jedinki sa najpovoljnijim genetičkim potencijalom za datu osobinu (Cassell, 2009). Umereno visoke vrednosti naslednosti ukazuju na postojanje mogućnosti za uspešnu selekciju u gajenju pastrmki (Ivanković, 2005; Sae-Lim i sar., 2012; Hu i sar., 2013). Kod kalifornijske pastrmke potvrđene su umerene do visoke vrednosti heritabiliteta za telesnu masu i dužinu tela, koje se kreću u intervalu od 0,20 do 0,60. Ovakve umerene do visoke vrednosti naslednosti ukazuju na mogućnost daljeg genetičkog unapređenja pastrmki (Sae-Lim i sar., 2012). U selekcijskim programima za kalifornijsku pastrmku, u fokusu se

nalazi telesna masa sa 10 meseci starosti, jer tada ribe dostižu veličinu blisku tržišnoj, a vrednosti heritabiliteta za ovu osobinu se kreću od 0,27 do 0,43 (Leeds i sar., 2016). Šire posmatrano, naslednost telesne mase kod salmonida kreće se od 0,10-0,52, što je potvrđeno u velikom broju istraživanja (Gunnes i Gjedrem, 1981; Gall i Huang, 1988; Elvingson i Johansson, 1993; Kause i sar., 2002; Quinton i sar., 2005; Kause i sar., 2007; Silverstein i sar., 2008; Hu i sar., 2013; Lillehammer i sar., 2013; Sae-Lim i sar., 2013; Tsai i sar., 2015). Visoke stope rasta ne samo da povećavaju produktivnost već i skraćuju period gajenja, smanjuju troškove hrane i povećavaju efikasnost proizvodnje. Međutim, na procene vrednosti heritabiliteta mogu uticati i razlike u statističkim modelima (Sae-Lim i sar., 2013). Procena naslednosti kondicionog faktora kreće se u rasponu od 0,19 do 0,59 u zavisnosti od uzrasta (Elvingson i Johansson, 1993; Rye i Refstie, 1995; Kause i sar., 2002, 2003; Neira i sar., 2004; Sae-Lim i sar., 2013).

Rast kod životinja predstavlja složen fiziološki proces koji je uslovljen kako genetičkim, tako i faktorima spoljašnje sredine, što ukazuje da isti genotip ne ostvaruje jednake performanse u svim uslovima gajenja (Ivanković, 2005; Mulder, 2007; Thorland i sar., 2019). Unapređenje osobina rasta moguće je ostvariti delovanjem na uslove gajenja, ali i selekcijom osobina sa većim vrednostima heritabiliteta koje su povezane sa ciljanim osobinama. Od posebnog je značaja ispitivanje povezanosti, odnosno genetičkih korelacija, između osobina koje uglavnom imaju srednje do umereno visoke vrednosti heritabiliteta i osobina od ekonomskog značaja u proizvodnji, poput brzine rasta, plodnosti, zdravstvenog stanja i dugovečnosti (Janković, 2017; Gunadi i sar., 2021).

Kod kalifornijske pastrmke, širok raspon vrednosti heritabiliteta je zabeležen za različite osobine, što ukazuje na značajnu genetičku varijabilnost ove vrste. Niske vrednosti heritabiliteta utvrđene su za neke osobine kao što je otpornost na bolesti (Stromsheim i sar., 1994; Fevolden i sar., 2002). Srednje do visoke vrednosti heritabiliteta su procenjene kod osobina kao što su brzina rasta, uzrast u periodu polne zrelosti, kondicioni faktor i plodnost (Gall, 1975; Gjerde, 1986; Nilsson, 1994; Henryon i sar., 2002). Ipak savremeniji radovi ukazuju da primena genomske selekcije omogućava preciznije procene i često više vrednosti heritabiliteta u odnosu na procene zasnovane na klasičnim modelima (D'Agaro i sar., 2021).

2.9. Procena priplodne vrednosti proizvodnih osobina

Priplodna vrednost jedinke predstavlja genetički potencijal koji ona može preneti na svoje potomstvo (Đedović, 2015). Procena priplodne vrednosti riba ima centralnu ulogu u odgajivačko-seleksijskom radu, jer omogućava rangiranje i izbor genetički superiornih jedinki koje će biti korišćene kao roditelji naredne generacije. Na osnovu procenjenih priplodnih vrednosti vrši se selekcija i formiranje roditeljskih parova, koji će doprineti genetičkom unapređenju narednih generacija (Gjedrem, 2000; Quinton i sar., 2005). Pouzdana procena priplodne vrednosti zahteva preciznu procenu genetičkih parametara, kao i objedinjavanje fenotipskih podataka jedinke, uz informacije o njenim precima, srodnicima i potomstvu (Henderson, 1984; Đedović, 2015).

Priplodna vrednost jedinke odnosi se na njenu vrednost u okviru populacije za određenu osobinu i predstavlja procenu aditivne genetičke komponente koju jedinica može preneti na potomstvo. Priplodna vrednost se smatra najpouzdanijim kriterijumom za izbor roditeljskih parova u odgajivačkim programima, jer omogućava razdvajanje genetičkih i negenetičkih uticaja na ispoljavanje osobine (Gjedrem i Rye, 2016; Janković, 2017).

Proces procene priplodne vrednosti je metodološki složen, budući da obuhvata veliki broj međusobno povezanih faktora koji se ne mogu neposredno izmeriti. Osnovni cilj ovog postupka jeste eliminacija ili smanjenje na minimum uticaja spoljašnjih (negenetičkih) faktora i što preciznija procena aditivne genetičke komponente varijanse. Aditivni efekat gena predstavlja deo ukupne

genetičke varijanse koji se ispoljava nezavisno od interakcija sa drugim genima i jedini se sa sigurnošću prenosi na potomstvo, što mu daje centralno mesto u proceni priplodne vrednosti (Bogdanović i sar., 1994; Gjedrem i Baranski, 2009).

U savremenoj zootehnici i u akvakulturi, aditivna genetička varijansa ima najveći praktični značaj, jer na pouzdan način odražava potencijal jedinke kao roditelja. Iz tog razloga, metode procene priplodne vrednosti zasnivaju se na statističkim modelima koji omogućavaju razdvajanje aditivnih genetičkih efekata od ostalih izvora varijabilnosti, pri čemu se najčešće primenjuje BLUP model (engl. Best Linear Unbiased Prediction), koji omogućava preciznu procenu priplodne vrednosti jedinki uz istovremeno uključivanje podataka o srodstvu i uticaju spoljašnjih faktora (Mrode, 2014). Izbor metode za procenu priplodne vrednosti zavisi od strukture raspoloživih podataka, uključujući broj jedinki, stepen srodstva, broj merenja i posmatrane osobine. Pouzdana procena zahteva visok kvalitet fenotipskih merenja, tačnu identifikaciju jedinki i potpunu evidenciju o poreklu, jer se procena ne zasniva isključivo na individualnim podacima, već i na informacijama o srođnicima (Yáñez i sar., 2015).

Identifikacijom genetički superiornih jedinki i njihovim uključivanjem u reprodukciju ostvaruje se maksimalan genetički napredak populacije. Priplodne vrednosti se izražavaju kao odstupanje od proseka referentne populacije, pri čemu pozitivne vrednosti ukazuju na iznadprosečne, a negativne na ispodprosečne genetičke potencijale. Efikasna i kontinuirana selekcija zasnovana na priplodnoj vrednosti dovodi do kumulativnog genetičkog unapređenja populacije kroz generacije, što je potvrđeno u brojnim primenjenim odgajivačkim programima kod domaćih životinja i riba (Meuwissen i sar., 2001; Gjedrem i sar., 2012).

2.10. Stopa inbridinga

Inbriding predstavlja jedan od ključnih izazova u selekcijskim programima kod riba, naročito u zatvorenim populacijama koje prolaze kroz proces selekcije. U takvim uslovima, prosečan porast inbridinga po generaciji može biti značajan. Tako su Leeds i sar. (2016) utvrdili da je stopa inbridinga iznosila u proseku 0,86% po generaciji (u rasponu od 0,3% do 1,6%), dok je kumulativni inbriding nakon pet generacija dostigao 4,5%.

Veza između efektivne veličine populacije (N_e) i nivoa inbridinga od izuzetne je važnosti za odgajivače. U zatvorenim populacijama gde je broj predaka ograničen, parenja između srođnika su česta, što direktno dovodi do porasta inbridinga. Dodatno, nejednak odnos polova u populaciji, naročito kada je broj mužjaka manji od broja ženki, značajno povećava verovatnoću pojave inbridinga (Falconer, 1989; D'Ambrosio i sar., 2019). Istraživanja potvrđuju da smanjena efektivna veličina populacije i neadekvatna struktura populacije ubrzavaju akumulaciju inbridinga i smanjuju dugoročni genetički napredak (Fernández i sar., 2011; Meuwissen i sar., 2016).

Inbriding dovodi do niza negativnih genetičkih posledica, pre svega do povećanja homozigotnosti, smanjenja genetičke varijanse i povećanja učestalosti ispoljavanja štetnih recesivnih alela, što se manifestuje smanjenim preživljavanjem i prirastom, a i povećanim brojem razvojnih abnormalnosti (Falconer, 1989; Paul i sar., 2021). Iako je broj istraživanja o inbridingu kod riba relativno ograničen, dostupni podaci ukazuju na slične štetne efekte kao i kod domaćih i gajenih životinja (Pante i sar., 2001; Waters i sar., 2020).

Procena inbridinga kod riba dodatno je otežana zbog nedostatka potpunih podataka o poreklu jedinki, jer se pedigree često ne evidentira ili je nepotpun. Pante i sar. (2001) navode da je nivo inbridinga u prvoj generaciji bio jednak nuli, dok su u kasnijim generacijama koeficijenti inbridinga rasli, pri čemu su vrednosti procenjene na osnovu efektivne veličine populacije uglavnom bile niže od onih dobijenih iz podataka o pedigreu, osim u početnim generacijama.

Maksimalni koeficijenti inbridinga u posmatranim populacijama kretali su se od 9,4% do 33,3%. U većini generacija, pojedinačni koeficijenti inbridinga bili su ispod 12,5%, dok je relativno mali procenat jedinki imao vrednosti jednake ili veće od 18,75%. Slične obrasce potvrdili su Fernández i sar. (2011), koji ukazuju na potcenjivanje stvarnog nivoa inbridinga kada se on procenjuje isključivo na osnovu efektivne veličine populacije (N_e).

Akumulacija inbridinga smatra se neizbežnom posledicom u zatvorenim populacijama riba. Tave (1993) je predložio granične vrednosti od 5% kao konzervativnu i 10% kao tolerantnu procenu prihvatljivog nivoa inbridinga, dok je Kincaid (1977) zabeležio značajno smanjenje produktivnosti kod kalifornijske pastrmke pri nivoima inbridinga iznad 18%. Slični efekti na plodnost, preživljavanje i rast uočeni su i kod drugih životinja pri nivoima inbridinga većim od 19% (Falconer, 1989; Pante i sar., 2001). Su i sar. (1996) i Pante i sar. (2001) navode da u selekcijskim programima kalifornijske pastrmke povećanje koeficijenta inbridinga za 10% dovodi do smanjenja stope rasta za 2%-5%, redukcije broja ikre za oko 6% i blagog povećanja starosti prilikom dostizanja polne zrelosti od oko 0,5%.

U selekcijskim programima, stopa akumulacije inbridinga ima veći značaj od apsolutnog nivoa inbridinga, jer direktno utiče na budući odgovor na selekciju kroz smanjenje genetičke varijanse. Visoka stopa inbridinga skraćuje broj generacija u kojima je moguće ostvariti genetički napredak (Woolliams i sar., 2015). Pante i sar. (2001) su utvrdili prosečnu stopu inbridinga od 1,3% po generaciji (0,4% godišnje) na osnovu podataka iz pedigrea, dok je procena zasnovana na efektivnoj veličini populacije iznosila 0,9% po generaciji (0,3% godišnje), što ukazuje da efektivna veličina populacije daje potcenjenu procenu stvarnog inbridinga.

Za tačnu procenu i kontrolu inbridinga, neophodno je vođenje potpunih podataka o poreklu jedinki. Vođenje evidencije o poreklu može se ostvariti individualnim obeležavanjem riba pomoću čipova ili primenom molekularnih markera, koji se sve češće koriste u savremenim selekcijskim programima (Houston i sar., 2020; Griot i sar., 2021). Iako su ove metode finansijski zahtevne, dugoročna korist u vidu očuvanja genetičke varijabilnosti prevazilazi troškove.

Kontrola inbridinga u selekcijskim programima može se postići održavanjem umereno visoke efektivne veličine populacije, primenom planskog sistema parenja i ograničavanjem broja potomaka po familiji, uz izbegavanje parenja bliskih srodnika (Pante i sar., 2001). Jedna od najčešće primenjivanih mera u cilju sprečavanja porasta inbridinga jeste izbegavanje parenja blisko srodnih jedinki. Ova mera ima i svoja ograničenja. Iako omogućava održavanje niskih vrednosti koeficijenta inbridinga, može istovremeno doprineti ubrzanom povećanju aditivne genetičke srodnosti unutar populacije (Bijma i Woolliams, 2000). Podela matičnog jata na dve ili više subpopulacija, uz periodično ukrštanje između njih, predstavlja efikasnu strategiju za smanjenje akumulacije inbridinga i obnovu genetičke varijabilnosti (Bentsen i Gjerde, 1994; Gjedrem, 2000; Skaarud i sar., 2010).

Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju da se inbriding kod riba može uspešno kontrolisati uz poštovanje strogo definisanih pravila formiranja roditeljskih parova i održavanje adekvatne efektivne veličine populacije. Održavanje inbridinga ispod 15% smatra se sigurnim za dugoročno plansko odgajivanje, bez negativnog uticaja na ostvareni genetički napredak (Pante i sar., 2001; Gjedrem i Rye, 2016).

2.11. Genetičke i fenotipske korelacije proizvodnih osobina

Genetičke i fenotipske korelacije između telesne mase kod riba imaju tendenciju opadanja kako se povećava vremenski interval između uzastopnih merenja, što ukazuje da se uticaj spoljašnjih faktora na rast akumulira tokom vremena (Su i sar., 2002; Rutten i sar., 2005). Prema navodima

Sae-Lim i sar. (2013) genetička korelacija između telesne mase prilikom obeležavanja i telesne mase tokom polne zrelosti relativno je niska ($r_g=0,35$), dok je korelacija između telesne mase pri sortiranju i telesne mase u trenutku polne zrelosti značajno veća ($r_g=0,72$). Ovi rezultati istraživanja ukazuju da selekcija u ranoj fazi, ukoliko je precizno sprovedena, može pozitivno uticati na genetički napredak telesne mase u kasnijim fazama razvoja.

Genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela kod riba, a naročito kod salmonida, uglavnom su visoke i pozitivne, što ukazuje na snažnu zajedničku genetičku povezanost ovih osobina. S obzirom na to da su ove osobine genetički povezane i pokazuju visoke procene genetičkih korelacija, studije su utvrdile da selekcija usmerena na povećanje telesne mase istovremeno dovodi do povećanja dužine tela (Hu i sar., 2013; Sae-Lim i sar., 2015). Gjerde i Schaeffer (1989) su među prvima ustanovili ove odnose i izvestili o visokim genetičkim korelacijama između telesne mase i dužine tela kod kalifornijske pastrmke, sa vrednostima koje su često prelazile 0,80 u zavisnosti od uzrasta i uslova gajenja. Vrednosti genetičkih korelacija između telesne mase i dužine tela mogu biti nešto niže u ranim fazama ontogenetskog razvoja, ali se povećavaju kako ribe rastu i približavaju se tržišnoj veličini. Ovo se objašnjava činjenicom da se u kasnijim fazama rasta smanjuje uticaj faktora okoline, a dolazi do izražaja genetički potencijal za ukupni somatski rast (Su i sar., 2002; Rutten i sar., 2005).

Visoke genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela nisu karakteristične samo za salmonide, već su potvrđene i kod drugih komercijalno važnih vrsta, kao što su šaran (*Cyprinus carpio*), tilapija (*Oreochromis niloticus*) i brancin (*Dicentrarchus labrax*), gde se vrednosti genetičkih korelacija kreću iznad 0,80 (Rutten i sar., 2005; Wang, 2009; Phuc i sar., 2025). Međutim, kod salmonida ova povezanost se smatra posebno stabilnom, što se pripisuje njihovoj relativno uniformnoj telesnoj građi i izraženom somatskom rastu. Pozitivne i visoke genetičke korelacije između telesne mase i drugih proizvodnih osobina, ukazuju da selekcija na telesnu masu može indirektno poboljšati ostale proizvodne osobine (Gjedrem i Baranski, 2009).

Fenotipske i genetičke korelacije između telesne mase i kondicionog faktora takođe pokazuju trend opadanja kako jedinke stare, što je rezultat promena u raspodeli energije između rasta, reprodukcije i drugih fizioloških procesa. Sae-Lim i sar. (2013) su utvrdili da je genetička korelacija između telesne mase i kondicionog faktora kod dužičaste pastrmke pri obeležavanju relativno visoka ($r_g=0,50$), dok se pri postizanju polne zrelosti smanjuje ($r_g=0,23$). Slično ovome, genetičke korelacije između dužine tela i kondicionog faktora u kasnijim fazama života uglavnom su niže. Fishback i sar. (2002) izveštavaju da je genetička korelacija između dužine tela i kondicionog faktora ($r_g=0,22$) niža nego korelacija između telesne mase i kondicionog faktora ($r_g=0,31$), što dodatno potvrđuje da je telesna masa bolji pokazatelj ukupnog somatskog stanja kod jedinki riba.

Novija istraživanja u akvakulturi potvrđuju da stabilnost genetičkih korelacija tokom rasta zavisi od načina gajenja i gustine nasada. Genetičke korelacije između osobina rasta mogu se značajno razlikovati između ekstenzivnih i intenzivnih uslova gajenja, pri čemu intenzivni sistemi često dovode do jače povezanosti između telesne mase i konverzije hrane. U radu sa crvenom tilapijom prikazana je značajna korelacija između genotipa i faktora okoline, pri čemu su genetičke korelacije između istih osobina različite u slatkim i slanim vodama (Phuc i sar., 2025). Analiza interakcije genotip – okolina kod kalifornijske pastrmke na četiri kontinenta pokazala je varijabilnost genetičkih korelacija rasta u različitim uslovima gajenja, sa najnižim korelacijama u ekstenzivnom gajenju (Sae-Lim i sar., 2013; Gallard-Hidalgo i sar., 2020).

Sveobuhvatno gledano, raspoloživa literatura potvrđuje da korelacije proizvodnih osobina nisu statične, već se menjaju tokom razvoja jedinki, pod uticajem genetičkih, fizioloških i faktora spoljašnje okoline. Ovi nalazi naglašavaju važnost dobro osmišljenih programa koji uzimaju u obzir

dinamiku ovih odnosa kroz različite faze životnog ciklusa. Bez obzira na visoke vrednosti genetičkih korelacija, pojedine studije ukazuju da intenzivna selekcija isključivo na telesnu masu može vremenom dovesti do promena u telesnim proporcijama, što potencijalno može smanjiti genetičku povezanost sa dužinom tela. Zbog toga u savremenim selekcijskim programima kalifornijske pastrmke i drugih salmonida često se preporučuje istovremeno praćenje obe osobine, kako bi se očuvala optimalna telesna kondicija riba (Lagarde i sar., 2023).

2.12. Familijaska selekcija (selekcija po familijama)

Brzinu genetičkog napretka u velikoj meri određuju korišćene metode selekcije i način odgajivanja. Potencijal jedinke da nosi superiorne gene može se proceniti na osnovu informacija o individualnim osobinama, srođnicima, potomcima i pedigreu. Pojam familije obuhvata potomstvo jedne istaknute majke, ili rođenu braću, sestre i roditelje, ili čak braću i sestre po jednom roditelju. Familijaska selekcija se zasniva na prosečnoj vrednosti posmatrane osobine, koja služi kao kriterijum za odabir superiornih individua kao roditelja za narednu generaciju. Ova metoda je manje pouzdana ako su jedinke unutar familije pod uticajem spoljašnjih faktora, poput majčinskog efekta. Efikasnost familijaska selekcije dodatno opada kada je broj jedinki u familiji mali (Đedović, 2015).

U akvakulturi se primenjuje više tipova selekcijskih programa, u zavisnosti od ciljeva oplemenjivanja, raspoloživih podataka i organizacije proizvodnje. Najčešće se primenjuje individualna selekcija, familijaska selekcija i kombinovani selekcijski program. Individualna selekcija se bazira na izboru jedinki prema sopstvenom fenotipu i najčešće se koristi za osobine sa visokom naslednošću, kao što je telesna masa.

Familijaska selekcija je najčešći pristup kod salmonida (Chavanne i sar., 2016) i pruža veću pouzdanost u poređenju sa individualnom selekcijom, ali je i znatno skuplji metod. Rano individualno obeležavanje riba nije moguće zbog njihove male veličine tokom larvenog uzrasta, pa se informacije o familijama obezbeđuju odvojenim familijaskim gajenjem (Chevassus i sar., 2002), ili genotipizacijom i određivanjem roditelja putem mikrosatelita ili SNP markera (Fishblack i sar., 2002; Houston i sar., 2020). Obe metode su skupe, prva zahteva velike eksperimentalne prostorije, a druga zbog cene individualne genotipizacije. Odvojeno gajene podrazumeva gajenje u inkubatorskim posudama do izvaljivanja larvi, a posle toga u rezervoarima za svaku pojedinačnu familiju, do dostizanja veličine pogodne za obeležavanje. Posle obeležavanja jedinki dalje gajenje se nastavlja u zajedničkim objektima, kako bi se minimizirali efekti životne sredine. Za dugoročni genetički napredak i sprečavanje inbridinga, od ključnog je značaja uključivanje velikog broja familija. Zbog toga se u programima gajenja atlanskog lososa često koristi više od 200 familija po generaciji (Gonen i sar., 2015).

2.13. Šema ukrštanja

Priprema šeme ukrštanja predstavlja jednu od ključnih faza u selekcijskim programima kod riba, jer direktno utiče na ostvarivanje genetičkog napretka, očuvanje genetičke varijabilnosti i dugoročne održivosti populacije (Yoshida i sar., 2018). Prilikom izrade šeme ukrštanja neophodno je uzeti u obzir ne samo genetičku vrednost jedinki za ciljna proizvodna i funkcionalna svojstva, već i stepen njihovog međusobnog srodstva, kako bi se rizik od akumulacije inbridinga sveo na minimum. Imajući u vidu da se gajene ribe odlikuju visokom plodnošću, isključivo usmeravanje selekcije na poboljšanje ekonomski važnih osobina može dovesti do povećanja inbridinga, što rezultira smanjenjem kondicije (Saura i sar., 2017; Fernández i sar., 2021). Iz tog razloga, savremeni programi oplemenjivanja riba sve više koriste informacije o srodstvu u proces donošenja odluka o parenju.

Odgajivački programi u akvakulturi, kao i u stočarstvu i u biljnoj proizvodnji, zasnivaju se na upotrebi podataka o srodstvu jedinki, kako bi se birali odgovarajući parovi za parenje. Kod salmonidnih vrsta riba, uključujući kalifornijsku pastrmku, često se primenjuje ugnježdjeni dizajn parenja, pri čemu se mleč jednog mužjaka koristi za oplodnju dve ili više ženki (Gjedrem i Baranski, 2009). Ovakav način parenja omogućava efikasnije korišćenje genetički vrednih mužjaka, što olakšava procenu genetičkih parametara i priplodnih vrednosti. Međutim, ukoliko je broj mužjaka uključenih u reprodukciju mali, ovakav sistem može dovesti do smanjenja efektivne veličine populacije, pa je neophodno obezbediti adekvatan broj roditeljskih jedinki kako bi se očuvala genetička varijabilnost i smanjio rizik od pojave inbriding depresije (Gjedrem i Baranski, 2009; Perrier i sar., 2014; Martinez i sar., 2022).

Savremeni pristupi formiranju šema ukrštanja podrazumevaju i primenu optimizovanih metoda parenja, koje koriste matematičke i statističke modele za raspodelu parova na osnovu koeficijenta srodstva. Kombinovanje većeg broja jedinki, zajedno sa planskim parenjem i ograničavanjem doprinosa pojedinačnih familija, pokazao se kao efikasan način za očuvanje genetičke raznolikosti i održavanje selekcijskog potencijala populacije kroz veći broj generacija (Fernández i sar., 2021; Janhunen i sar., 2022).

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Ova doktorska disertacija ima za cilj da postavi osnove za dublje razumevanje varijabilnosti, naslednosti i genetičke strukture osobina telesne razvijenosti kod populacija kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*) gajenih u Republici Srbiji. Poseban akcenat je stavljen na kvantitativno-genetičku analizu ključnih proizvodnih osobina, pre svega telesne mase i dužine tela, koje imaju direktan uticaj na efikasnost i ekonomsku održivost proizvodnje u akvakulturi. Razumevanje fenotipske i genetičke varijabilnosti i naslednosti ovih osobina predstavlja važan preduslov za planiranje i unapređenje odgajivačkih programa u uslovima intenzivnog gajenja kalifornijske pastrmke.

Glavni istraživački ciljevi bili su:

- da se unaprede ekonomski važne osobine;
- da se ispita fenotipska ispoljenost i varijabilnost osobina telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke;
- da se utvrdi uticaj faktora (tank, godina mresta i pol) na posmatrane osobine;
- da se procene vrednosti koeficijenta naslednosti za posmatrane osobine;
- da se procene priplodne vrednosti za posmatrane osobine, u cilju identifikacije genetički superiornih roditelja i sagledavanja ostvarenog genetičkog trenda;
- da se procene stope inbridinga u posmatranoj populaciji;
- da se procene genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela.

Na osnovu dobijenih rezultata moguće je proceniti ključne genetičke parametre neophodne za uspostavljanje efikasnih selekcijskih programa u proizvodnji kalifornijske pastrmke. Primena ovakvih programa omogućava formiranje genetički unapređenih linija koje se odlikuju visokom stopom rasta, boljom konverzijom hrane, povećanom plodnošću, dobrim kvalitetom mesa i povećanom otpornošću na bolesti. Time se ne unapređuje samo produktivnost proizvodnje, već se doprinosi i očuvanju genetičke varijabilnosti populacija, što predstavlja jedan od ključnih preduslova za stabilan i održiv razvoj akvakulture u Republici Srbiji. Rezultati ove doktorske disertacije imaju značajnu primenu kako u naučnoistraživačkom, tako i u praktičnom radu, kroz unapređenje postojećih i razvoj novih odgajivačkih programa primenjenih u gajenju kalifornijske pastrmke.

4. MATERIJAL I METODE

4.1. Materijal

4.1.1. Prikupljanje matica za program selekcije

Radi uspostavljanja održivog i genetički zasnovanog programa selekcije, a u cilju unapređenja proizvodnih osobina familija kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*) izvršeno je sistematsko prikupljanje polno zrelih jedinki, starosti od tri do četiri godine. Odabir ove starosne kategorije zasniva se na činjenici da se u ovom uzrastu prepoznaju polovi, kao i da jedinke poseduju polno zrele produkte.

Prikupljanje riba sprovedeno je tokom 2010. godine sa ukupno osam komercijalnih ribnjaka (**Tabela 5**), sa različitih lokaliteta u Republici Srbiji (**Slika 3**). Ribnjaci Lazić, Žubor i Bast komerc pripadaju opštini Despotovac, ribnjak Jablanica se nalazi na teritoriji opštine Boljevac, ribnjak Vrelo pripada Sokobanji, ribnjak RM Stubica je sa teritorije opštine Žagubica, ribnjak Braduljica pripada opštini Ivanjica, dok se ribnjak Dini trade nalazi na teritoriji opštine Piroć. Riba su sa ribnjaka prenete u Centar za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju „Mali Dunav“ Oglednog dobra „Radmilovac“ Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, gde je započet program selekcije.

Tabela 5. Broj prikupljenih jedinki sa različitih ribnjaka

| | Ribnjaci | | | | | | | Dini trade |
|---------|----------|-------|-------------|-----------|-------|------------|------------|------------|
| | Lazić | Žubor | Bast komerc | Jablanica | Vrelo | RM Stubica | Braduljica | |
| Ženke | 3 | 2 | 8 | 4 | 8 | 17 | 7 | 5 |
| Mužjaci | 2 | 1 | 4 | 7 | 4 | 12 | 3 | 5 |

Za sakupljene ribe nisu postojale informacije o precima. Startni kriterijum u odabiru polno zrelih jedinki je da u ribnjacima iz kojih su jedinke uzete, nisu unošene ribe sa drugih ribnjaka u prethodnih 15 godina. Ovom merom je smanjen rizik od genetičkog mešanja i unošenja raznih bolesti. Nakon prikupljanja, sve ribe su transportovane u skladu sa standardima o dobrobiti životinja, u transportnim džakovima sa vodom, pri kontrolisanim temperaturnim uslovima, sa dovoljnom koncentracijom rastvorenog kiseonika. Transport je organizovan tako da se minimizira nivo stresa, kako bi se izbeglo uginuće riba.



Slika 3. Geografski položaj ribnjaka obuhvaćenih istraživanjem na teritoriji Republike Srbije; 1 – Lazić; 2 – Žubor; 3 – Bast komerc; 4 – Jablanica; 5 – Vrelo; 6 – RM Stubica; 7 – Braduljica; 8 – Dini trade (mapa kreirana uz pomoć Google Earth online: V. Golubović)

Uspostavljanje ovako bazne populacije sa visokim nivoom genetičke divergentnosti predstavlja prvi i ključni korak u realizaciji dugoročnog i efikasnog programa oplemenjivanja, što je u skladu sa preporukama brojnih autora (Gall, 1990; Refstie, 1990; Gjoen i Bentsen, 1997; Bernaš i Waş-Barcz, 2020). Različito genetičko poreklo i odsustvo bliskog srodstva (u poslednje 3-4 generacije) među jedinkama ulazne generacije obezbeđuje stabilnu osnovu za naredne generacije, kao i mogućnost procene genetičkih parametara.

4.1.2. Mrest kalifornijske pastrmke

Dva meseca pre početka mresta ishrana riba je redukovana i to tako što je dnevni obrok smanjen za 50%. Na ovaj način je smanjena zapremina trbušne duplje, kako bi se oslobodio prostor za razvoj polnih produkata. U uzrastu kada su jedinke spremne za mrest polni dimorfizam je jasno izražen, tako da je lako razlikovati jedinke po polovima. Mužjaci su izraženijih boja (tzv. „svadbene“ boje), najčešće intenzivne narandžasto do crvene nijanse duž bočne linije i imaju izduženu donju vilicu u obliku kuke. Ženke su u tom uzrastu krupnije, manje obojene i sa izbočenijim trbušnim delom usled razvoja polnih produkata.

Kod mužjaka polna aktivnost tokom mresta traje 20 dana, a kod ženki puna polna aktivnost kraće traje, oko 8 dana (Marković i Mitrović - Tutundžić, 2003). Zbog toga je u pripremnom periodu svakog četvrtog ili petog dana vršen pregled ženki. Pregled ženki je podrazumevao da se svaka jedinka blago opipava u trbušnom delu i utvrđuje da li je ikra u završnoj fazi zrenja. Jedinke

kod kojih je utvrđena zrelost ikre izdvajane su u posebne kadice, kako bi se omogućilo pravovremeno obavljanje kontrolisanog mresta.

Pre svakog mresta bilo je neophodno da se pripremi pribor za rad: kadice za anesteziiranje matica, sto sa mekanom podlogom na kome se vrši pregled matice nakon anesteziiranja, čiste i suve posude za prihvatanje polnih produkata, digitalna vaga za merenje matica i ikre, guščija pera ili stakleni štapići za ručno homogenizovanje ikre i mleča, dovoljan broj inkubacionih kadica za nasad oplodene ikre, računar i softver za evidenciju podataka i praćenje tačne evidencije tokom mresta.

Pre početka mresta nivo vode u bazenima je postepeno snižavan kako bi se omogućilo lakše hvatanje matica meredovom. Riba su potom pažljivo usmeravane i sakupljane, uz minimalno izazivanje stresa i mehaničkih povreda. Nakon izdvajanja, vršena je kontrola polne zrelosti matica blagim pritiskom u predelu abdomena, pri čemu su za dalji postupak odabirane jedinke kod kojih je dolazilo do oslobađanja polnih produkata. Zrele matice su zatim podvrgnute anesteziiranju i pripremane za proces uzimanja ikre i mleča.

Pre istiskivanja polnih produkata sve matice su anestezirane radi umirenja (**Slika 4**), kako bi se smanjio stres riba i olakšao dalji rad. Kao anestetik je korišćeno komercijalno etarsko ulje karanfilića (proizvođača Probotanika), pomešano sa vodom iz bazena. Korišćena doza anestetika zavisila je od telesne mase matica kao i od količine i temperature vode u kadicama za anesteziiranje, pri čemu je bio cilj da se postigne blaga omamljenost i smanji stresna reakcija riba.



Slika 4. Anesteziiranje riba u kadici sa rastvorom etarskog ulja (foto: V. Golubović)

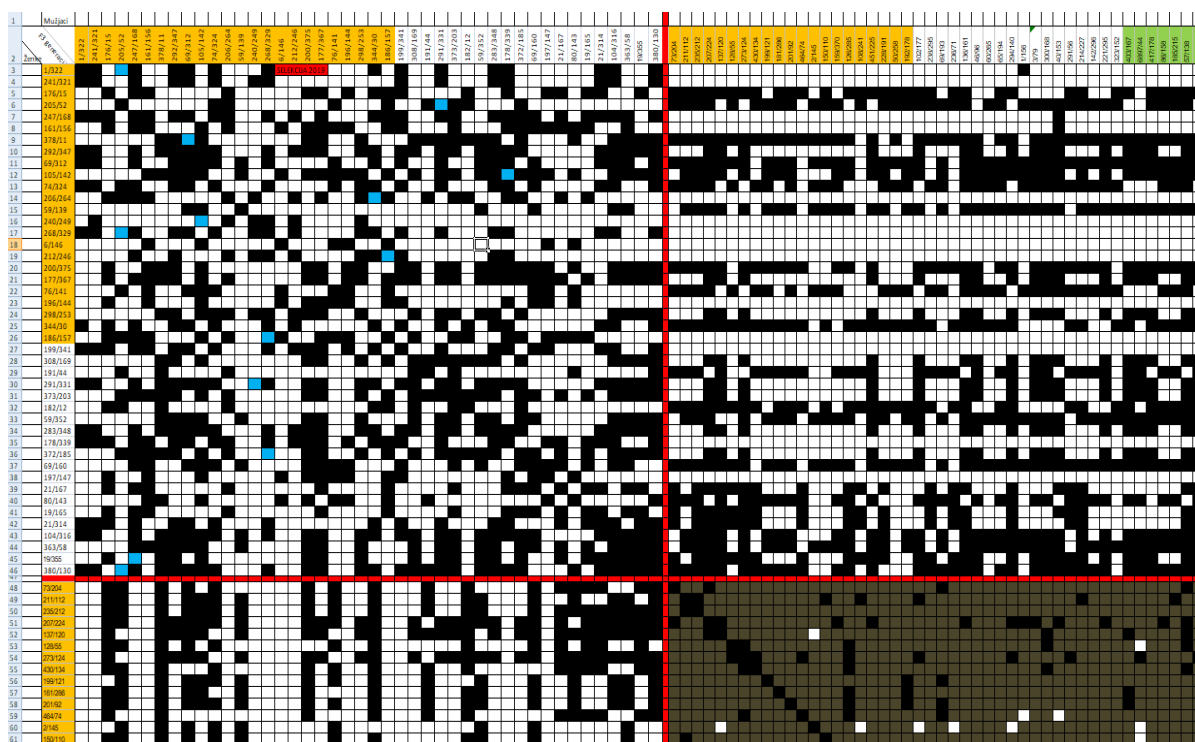
Sam proces ceđenja polnih produkata obavljale su jedna do dve osobe. Jedna osoba je anestezirala jedinke i proveravala zrelost ikre, dok je druga osoba suvom krpom brisala maticu u predelu polnog otvora (u cilju uklanjanja vode) i pridržavala maticu u položaju sa blagim nagibom ka repu, čime je omogućen lakši izlazak polnih produkata. Blagim, ujednačenim pritiscima duž trbušne linije, vršeno je usmeravanje ikre ili mleča ka polnom otvoru u već pripremljenu posudu (**Slika 5**). Ikra je istiskivana pažljivo niz zidove posuda, kako ne bi trpela mehanička oštećenja. Posebno se vodi računa o sprečavanju kontakta posuda sa vodom ili drugim spoljašnjim

kontaminantima, jer prisustvo vode može prerano aktivirati spermatozoide i smanjiti uspeh oplodnje. Ikra koja je imala grudvice, sukrvicu ili je bila prezrela nije korišćena za oplodnju. Vršeno je istiskivanje ikre iz svih matrica, čak i onih koje ne učestvuju u formiranju familija za selekcijski program, kako se zaostala ikra ne bi resorbovala u abdomenu ženke ne bi uslovlila uginuće matrica.



Slika 5. Ikra (levo) i mleč (desno) (foto: V. Golubović)

Nakon istiskivanja polnih produkata iz svih zrelih matrica, pristupalo se sparivanju polnih produkata (njihovoj oplodnji) i mešanju uz pomoć guščijeg pera ili nekad uz pomoć staklenih štapića, po unapred pripremljenoj šemi ukrštanja (Slika 6). Šema je formirana na osnovu postojećeg pedigrea. Prilikom formiranja šeme ukrštanja strogo se vodilo računa o parenju u srodstvu. Pareni su mužjaci i ženke kod kojih na osnovu dostupnih podataka iz rodovnika nije utvrđeno postojanje zajedničkih predaka u analiziranom broju generacija. Time je obezbeđeno održavanje nivoa genetičke raznolikosti i smanjenje rizika od inbriding depresije.



Slika 6. Pripremljena šema ukrštanja (crna polja predstavljaju kombinaciju gde se određena ženka i mužjak ne mogu pariti, dok bela polja predstavljaju kombinaciju gde se određeni mužjak i ženka mogu pariti) (foto: V. Golubović)

Oplodnja se obavlja kombinovanjem ikre jedne ženke sa mlečom jednog mužjaka, prema formiranoj šemi ukrštanja. Polni produkti su ručno mešani staklenim štapićem ili gušćijim perom oko pet minuta radi ujednačenog kontakta gameta (**Slika 7**). Posle toga je dodata voda iz ribnjaka u količini dovoljnoj da prekrije polne produkte, čime se podstiče aktivacija spermatozoida, a proces mešanja se nastavlja još pet minuta. Posle toga polni produkti su ostavljeni da miruju 15-ak minuta kako bi se završila oplodnja jajnih ćelija. Nakon završetka faze oplodnje, ikra je ispirana u nekoliko ciklusa čistom vodom iz bazena, kako bi se uklonio višak mleča i nečistoće, koje bi mogle dovesti do pojave plesni ili smanjenja procenta izvaljenih larvi. Nakon faze oplodnje na pastrmskom ribnjaku (firmi RM Stubica i Bilans M) ikra je u plastičnim posudama transportovana do Beograda.

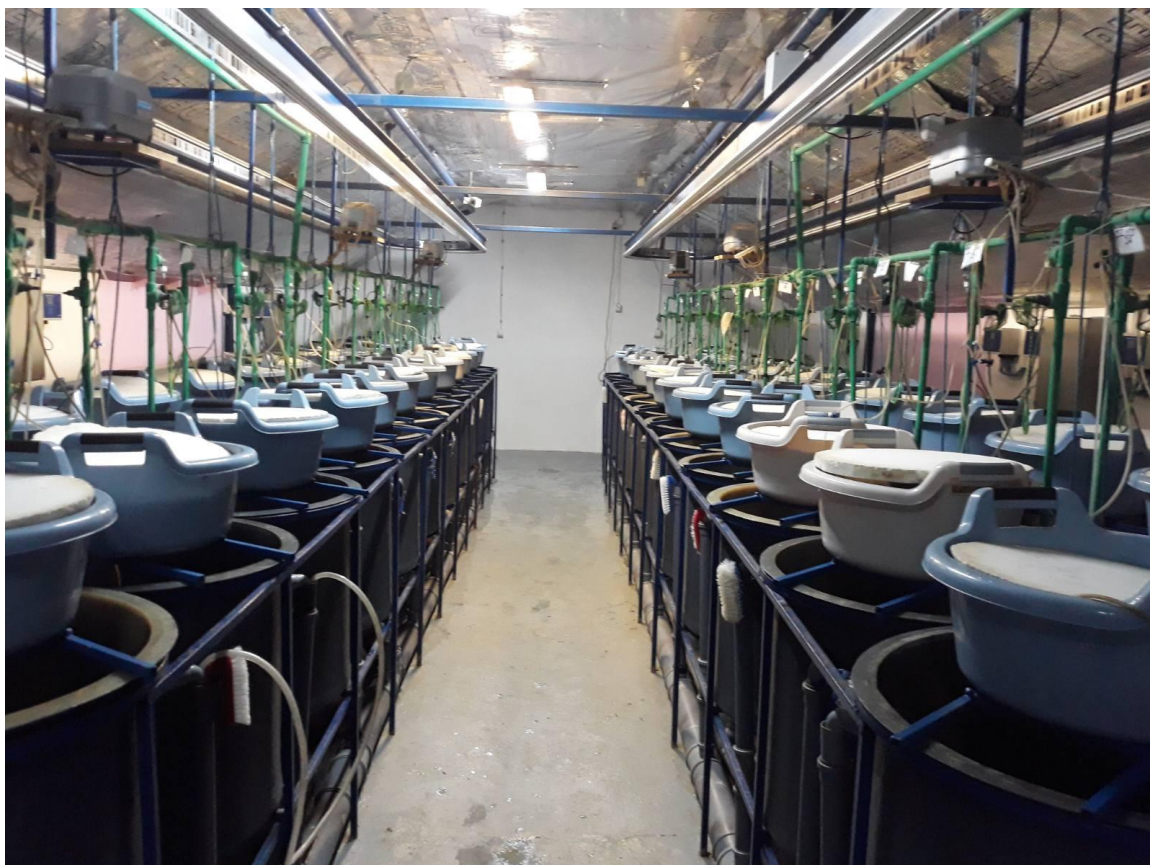


Slika 7. Prikaz pomešanih mleča i ikre (levo), oplodena nabubrela ikra (desno) (foto: V. Golubović)

4.1.3. Inkubacija ikre

Oplodena ikra je pažljivo raspoređena na prethodno postavljene mrežice inkubacionih (plastičnih) kadica zapremine 10-15 L, koje se nalaze u zatamljenoj inkubacionoj prostoriji (Hala 1) Centra za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju „Mali Dunav“ na Ogladnom dobru „Radmilovac“ Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Zatamljivanje prostora, uz dodatno prekrivanje inkubacionih kadica stiropornim tablama, imalo je za cilj da se obezbede stabilni ambijentalni uslovi sa minimalnim uticajem spoljašnjeg svetla. Ovakvi uslovi su neophodni zbog fotoosetljivosti ikre salmonidnih vrsta riba i potencijalnog negativnog delovanja svetlosti na embrionalni razvoj (**Slika 8**).

Inkubaciona sala je deo RAS sistema. Recirkulacioni akvakulturni sistem se sastoji od 50 individualnih tankova, sistema za aeraciju vode, sistema za praćenje koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi, kao i sistema za prečišćavanje vode (mehaničko prečišćavanje, hemijski tretman vode, biofilter, obogaćivanje vode kiseonikom, UV lampa). Voda u RAS sistemu menjana je desetak dana pre svakog mresta (nasada ikre). Tokom gajenja mladi, do navršenog 5-og meseca starosti, u sistem je svakodnevno zamenjeno od 5-10% sveže vode.



Slika 8. Inkubaciona hala (CEFAH „Mali Dunav“) sa kadicama koje su prekrivene stiropornim tablama (foto: V. Golubović)

Nasađivanje ikre je obavljeno u jednom sloju koji pokriva ležnice u inkubacionim kadicama (Slika 9), tako da svako jaje ima kontakt sa vodom. Ovakav raspored sprečava mehaničko oštećenje, lepljenje i stvaranje anaerobnih prostora između ikre. Korišćena je protočna bunarska voda, pri čemu je protok bio podešen tako da ne dolazi do pomeranja nasađene ikre. S obzirom na to da je ikra bila raspoređena u tankom sloju, obezbeđena je i dobra „provetrenost“ i oskrbljenost ikre kiseonikom. Optimalan protok (3-4 L u minuti) i aerisanost vode ključni su faktori koji utiču na uspešnu embriogenezu i procenat izvaljivanja.



Slika 9. Nasađena ikra u inkubacionim kadicama (foto: V. Golubović)

Inkubacija ikre je trajala od 30 do 32 dana (300-320 d°), a temperatura vode se kretala u intervalu od 9 do 11 °C. Ovaj temperaturni interval je bio optimalan za inkubaciju ikre, jer je omogućio stabilan razvoj embriona i sprečio ubrzano, stresno izvaljivanje. Tokom inkubacionog perioda, svakodnevno se pratila, pregledala i čistila oplođena ikra od jaja koja su ostala neoplođena (**Slika 10**) ili su propala tokom trajanja inkubacije. Pravovremenim uklanjanjem propalih jaja sprečen je razvoj plesni, koje bi mogle ugroziti zdravu ikru. Ovaj proces zahteva pažljiv svakodnevni rad, najčešće uz korišćenje specijalnih pipeta ili finih hvataljki kako bi se sprečilo oštećenje vitalnih embriona.



Slika 10. Prikaz ikre na ležnicama (bela jaja su neoplođena ili nerazvijena) (foto: V. Golubović)

Na kraju perioda inkubacije započeo je proces izvaljivanja predlarvi (larva sa žumancetnom kesom). U ovoj fazi izvaljene jedinke miruju (leže) na postavljenim ležnicama i hrane se rezervama žumancetne kese. Kada je žumancetna kesa utrošena 2/3 od prvobitne mase, riblji mehur se punio vazduhom, a predlarve su proplivale (**Slika 11**).



Slika 11. Predlarve sa žumancetnim kesama (foto: V. Golubović)

U periodu kada je 2/3 larvi proplivalo, započinje postepeni proces privikavanja na dodatnu, visokoproteinsku hranu. Larve se prihranjuju visokokvalitetnom komercijalnom hranom proizvođača Skretting (Mozzecane, Verona, Italija), u skladu s preporukama proizvođača i fazom razvoja. Na početku su prihranjivane na svakih 15 minuta tokom 8 sati (od 7 do 15 h), da bi se sa povećanjem telesne mase mlađi broj dnevnih obroka postepeno smanjivao, a količina hrane po obroku povećala.

Kvalitet vode je kontinuirano praćen, jer prisustvo nepojedene hrane može dovesti do nagle promene kvaliteta vode. Promena kvaliteta vode najčešće dovodi do povećanja koncentracije amonijaka, pada koncentracije rastvorenog kiseonika i pojave patogenih mikroorganizama. Kako bi se sve ovo sprečilo, tankovi su redovno čišćeni, a protok vode je bio konstantan kako bi se obezbedila efikasna filtracija.

Nekoliko nedelja nakon proplivavanja, metodom slučajnog uzorka je odabrano po 100 larvi iz svake familije, koje su iz inkubatora premeštene u cilindrične tankove (bazene), zapremine oko 120 L (visina tanka je 38 cm, a prečnik 65 cm), a koji se nalaze ispod inkubacionih kadica, gde je nastavljeno njihovo dalje gajenje. U bazenima su bili kontrolisani uslovi, sa obezbeđenim optimalnim protokom vode, adekvatnom temperaturom i adekvatnom ishranom. U ovom uzrastu mlađ aktivnije pliva, više se hrani i adaptira na veći prostor.

4.1.4. Čipovanje (obeležavanje) mlađi

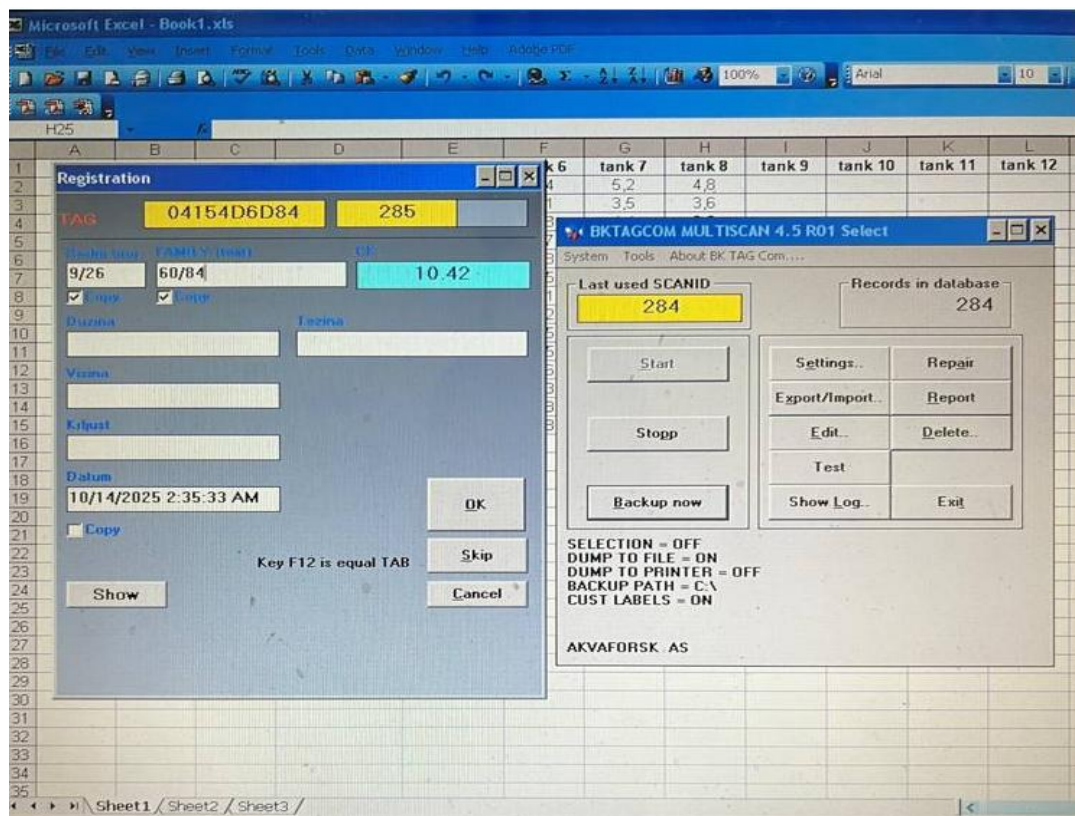
Praćenje proizvodnih rezultata svake familije predstavlja osnovu za uspešno sprovođenje programa selekcije i unapređenje genetičkog materijala. Da bi se omogućilo precizno identifikovanje svake jedinke tokom životnog ciklusa, neophodno je bilo obeležavanje (čipovanje) mlađi (**Slika 12**). Mlađ je čipovana sa navršenih pet meseci, odnosno u uzrastu kada je bila dovoljno velika (mase veće od 1,5 g) da se u svaku jedinku posebno, a nesmetano za obavljanje daljih životnih funkcija, ubaci (injektira) mikro čip u trbušnu duplju (PIT – Passive Integrated Tags, Norway).

Pre samog procesa čipovanja potrebno je bilo pripremiti kompletno radno mesto i pribor: flanelne krpe, kofe za prihvatanje ribe, anestetik, ihtiometar, vaga, računar sa softverom BKTAGCOM (BioSort AS, Trondheim, Norveška), uređaj (čitač) za očitavanje čipova, injektor sa čipovima. Dezinfekcija pribora pre i posle svake upotrebe, bila je obavezna mera, uz upotrebu rukavica.



Slika 12. Proces čipovanja i merenja riba (foto: V. Golubović)

Od startno izdvojenih 100 jedinki po familiji, za obeležavanje je odabirano 30 - 50 jedinki sa najvećim telesnim masama, bez vidljivih anomalija. Posle odabira svaka jedinka je anestetizirana u rastvoru anestetika, u cilju smanjenja stresa i radi lakšeg merenja. Svaka obeležena jedinka je dobila svoj identifikacioni broj (autentična kombinacija od 10 simbola, koju čine slova i cifre), koji je unosen u bazu podataka (BKTAGCOM, Norway) (**Slika 13**), zajedno sa ostalim proizvodnim osobinama.



Slika 13. Ulazni deo baze podataka za vođenje matične evidencije (foto: V. Golubović)

Merenje telesne mase je realizovano korišćenjem precizne vage – RADWAG THB – 600, MAX 600 g, d=0,01 g (Poljska), dok je dužina tela merena korišćenjem ihtiometra. Svaki unos podataka je automatski čuvan u bazi BKTAGCOM, gde se pored identifikacionog broja (ID) beleži datum i vreme čipovanja, familija, masa, dužina tela i eventualno napomena o zdravstvenom stanju. Ovakav pristup preciznoj individualnoj identifikaciji jedinki neophodan je u selekcijskim programima, jer omogućava visok nivo tačnosti u proceni genetičkih parametara, planiranju mresta i praćenju genetičkog napretka kroz generacije.

4.1.5. Gajenje mladi i polno zrelih jedinki

Nekoliko dana nakon obeležavanja, pastrmska mlađ je iz Centra za ribarstvo i primenjenu hidrobiologiju „Mali Dunav“ transportovana na protočni ribnjak „RM Stubica“ (Sisevac, Srbija), od 2011-2016. godine, a posle 2016. godine mlađ je transportovana na protočni ribnjak „Bilans M“ (Perućac), gde je dalje gajena i gde su praćeni dalji proizvodni pokazatelji.

Oba ribnjaka karakteriše konstantan dotok hladne vode sa visokim koncentracijama rastvorenog kiseonika (8-12 mg/L), što predstavlja optimalne uslove za intenzivno gajenje i dobro zdravstveno stanje kalifornijske pastrmke. Ovi ribnjaci predstavljaju objekte za intenzivno gajenje salmonidnih vrsta riba. Betonski bazeni su prilagođeni intenzivnom gajenju riba, sa omogućenom stalnom izmenom vode, uklanjanjem metaboličkih produkata i održavanjem stabilne temperature tokom godine. Sa tehnološkog aspekta, ribnjaci poseduju vodozahvat, rešetke, protočne odgajivačke bazene i sistem odvodnih kanala. Deo sa rešetkama je veoma važan segment ribnjaka, jer omogućavaju uklanjanje mehaničkih nečistoća iz dovodne vode, čime se doprinosi održavanju stabilnih uslova gajenja riba.

U cilju odgajivanja što većeg broja jedinki, u naredne tri godine je sprovedena blaža selekcija, kako bi se obezbedila šira genetička varijabilnost za naredne generacije. Ovakav pristup omogućio je očuvanje većeg broja familija i sprečio smanjenje efektivne veličine populacije, što je od velike važnosti da bi se obezbedio veći potencijal za genetički napredak u narednim generacijama.

Na ribnjaku „RM Stubica“ (Slika 14) prvih sedam meseci, sve jedinke bez obzira na familijsku pripadnost, gajene su zajedno u malim bazenima (dimenzija 3,0 × 0,7 × 0,5 m). Ovakav način gajenja riba omogućio je jednostavniji nadzor nad zdravstvenim stanjem i mortalitetom, kao i bolju kontrolu ambijentalnih uslova koji su ključni u ranim fazama rasta. Posle ovog perioda, jednogodišnja mlađ je premeštena u veće bazene (dimenzija 25 × 5 × 1 m), gde je nastavljeno njihovo dalje gajenje. U većem bazenu je obezbeđen veći prostor i manja gustina nasada.



Slika 14. Ribnjak „RM Stubica“ (Sisevac) (foto: Z. Marković)

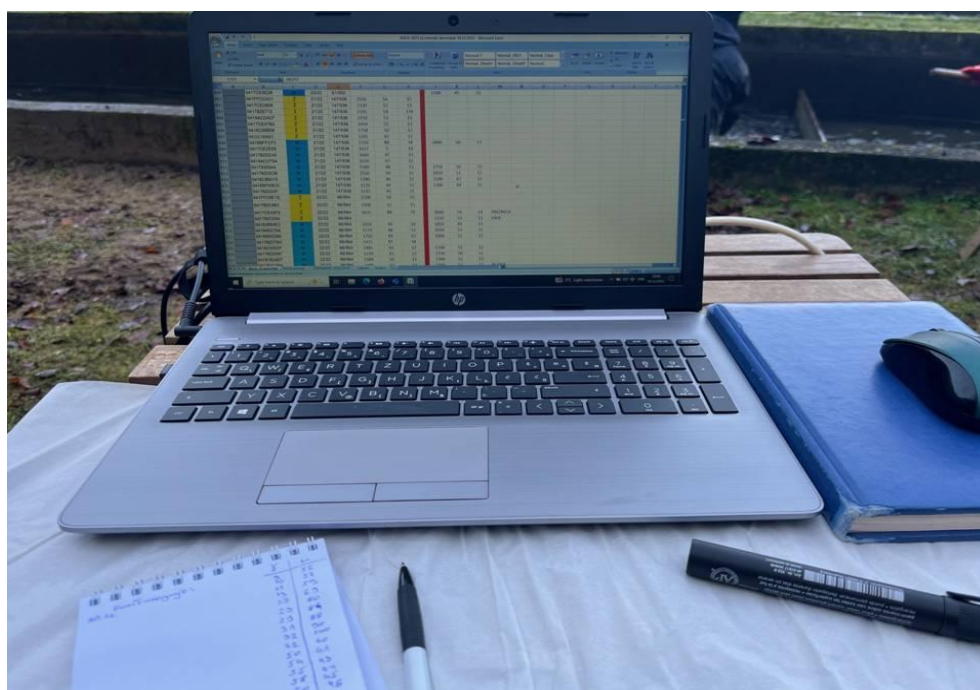
Na ribnjaku “Bilans M” (**Slika 15**), prva faza gajenja je obavljena u prvom delu velikog bazena, koji je odvojen od ostatka bazena sa metalnom pregradom, da bi se godinu dana kasnije riba premeštala u drugi deo bazena, a potom naredne godine u treći deo istog bazena.



Slika 15. Ribnjak „Bilans M“ (Perućac) (foto: V. Golubović)

Tokom celog procesa gajenja ribe su hranjene visokovrednom proteinskom hranom proizvođača Skreting (Italija), uz poštovanje preporuka proizvođača o veličini granula, dnevnim obrocima i dinamici hranjenja. Primena standardizovane hrane obezbedila je optimalne nutritivne potrebe za sve uzrasne kategorije pastrmki u programu selekcije.

Krajem svake godine (u decembru), obavljano je merenje telesne mase i dužine tela svake jedinke. Svi podaci su unošeni u centralnu bazu podataka (**Slika 16**), čime je obezbeđeno sistemsko praćenje rasta tokom više uzastopnih godina i generacija. Sa navršene dve godine starosti, pored navedenih osnovnih podataka u bazu je evidentiran i podatak o polu jedinki, kao i o stepenu polne zrelosti, sa čijim praćenjem se nastavilo i narednih godina. Praćenjem polne zrelosti omogućen je izbor roditelja za naredne generacije.

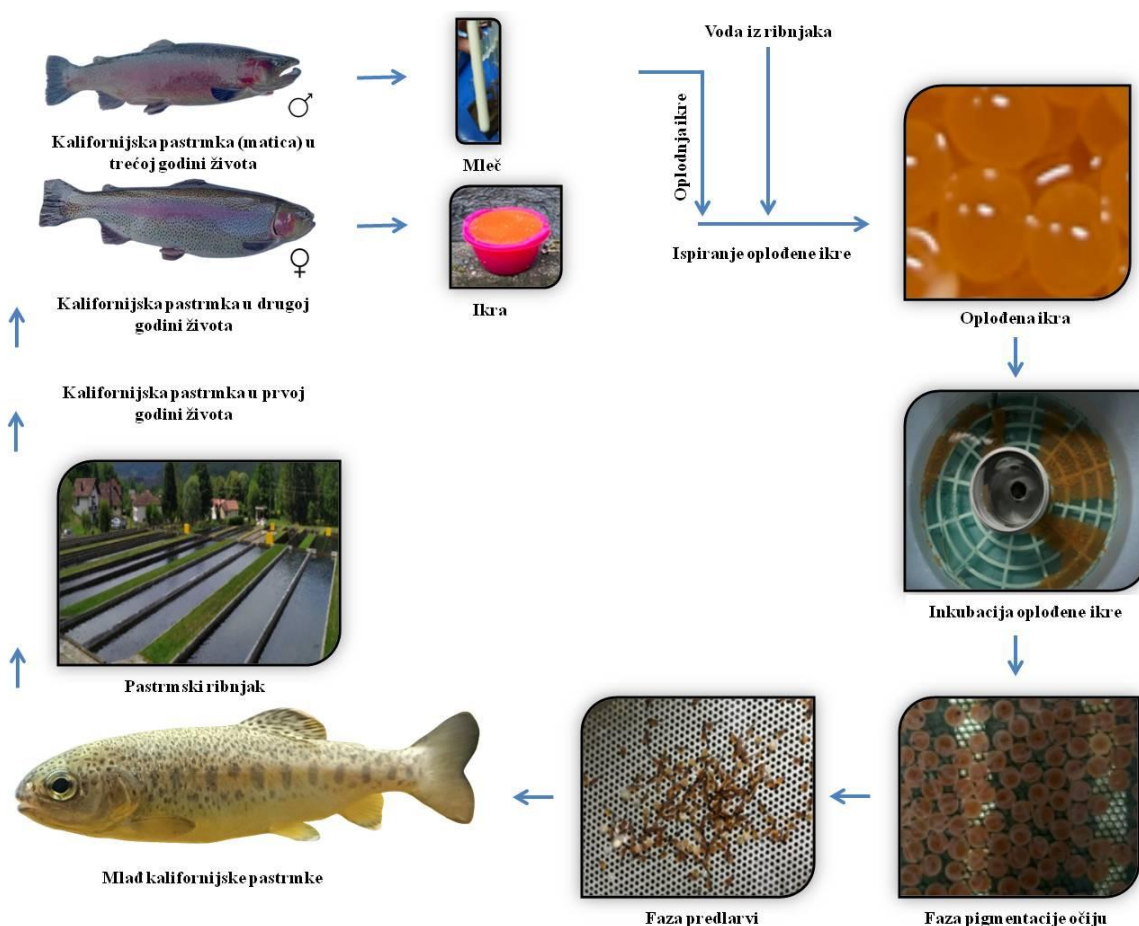


Slika 16. Centralna baza podataka (foto: V. Golubović)

Sprovedeno je redovno čišćenje bazena tokom cele godine, uz obaveznu dezinfekciju (kreč, peral), radi smanjenja prisustva patogena i održavanja optimalnih higijenskih uslova. Na samom ribnjaku su primenjivane standardne biosigurnosne mere, uključujući kontrolu ulaska ljudi, dezinfekciju opreme i praćenje potencijalnih izvora infekcije, čime je mogućnost širenja bolesti svedena na minimum. Pored toga, zdravstveni status jedinki je konstantno praćen vizuelnim pregledima i praćenjem ponašanja tokom hranjenja. Svake godine u decembru mesecu uzorci svih uzrasnih kategorija su prosleđivani i na kompletan pregled (virusološki, bakteriološki, parazitološki) u Laboratoriju za bolesti riba Naučnog instituta za veterinarstvo Srbije u Beogradu.

Ovakav sveobuhvatan pristup prilikom gajenja omogućio je da se populacija pastrmki prati u ujednačenim i dobro kontrolisanim uslovima tokom životnog ciklusa, što predstavlja preduslov za pouzdano sprovođenje selekcijskog programa.

Nakon prethodno detaljno opisanih segmenata proizvodnog ciklusa kalifornijske pastrmke, na **slici 17** šematski je prikazan celokupan tok proizvodnje, od dobijanja mlađi do gajenja odraslih jedinki riba. Ovaj šematski prikaz omogućava jasan uvid u međusobnu povezanost pojedinih faza, kao i ključne tehnološke korake koji određuju uspešnost i efikasnost proizvodnje.



Slika 17. Šematski prikaz reproduktivnog ciklusa kalifornijske pastrmke (foto: V. Golubović)

4.2. Metode

Ispitivanje fenotipskih i genetičkih parametara osobina telesnog rasta kalifornijske pastrmke, obavljeno je na uzorku od 11084 jedinke, odgajane u periodu od 2011. do 2020. godine. Ovim istraživanjem obuhvaćene su četiri generacije riba i to: F1 generacija (selekcija riba 2011, 2012 i 2013), F2 generacija (selekcija riba 2014, 2015 i 2016), F3 generacija (selekcija riba 2017, 2018 i 2019) i F4 generacija (selekcija riba 2020). Podaci o broju riba i familija na čipovanju (5 meseci starosti) za svaku godinu selekcije dati su u **Prilogu**, u **Tabeli 1**. U okviru istraživanja analizirane su osobine prirasta, telesna masa (**TM**) i dužina tela (**D**), koje su praćene kroz više uzrasnih kategorija, odnosno u uzrastu od 5, 12, 24, 36 i 48 meseci. Osim proizvodnih osobina, skup podataka ubuhvatao je i informacije o poreklu jedinki. Na osnovu podataka iz rodovnika konstruisana je matrica srodstva, čije uključivanje u genetičku analizu je omogućilo modeliranje genetičkih odnosa između jedinki i precizniju procenu aditivne genetičke varijanse.

4.2.1. Korišćeni softver i statistički alati

Analiza kvantitativno-genetičkih parametara osobina rasta kod kalifornijske pastrmke sprovedena je primenom odgovarajućih statističko-matematičkih modela uz korišćenje specijalizovanih softverskih paketa:

- MS Excel – korišćen je za unos i čuvanje podataka, kao i za pripremu input fajla;
- SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2012) – korišćen za deskriptivnu statistiku i ispitivanje uticaja faktora na posmatrane osobine;
- VCE v6 (Groeneveld i sar., 2010) – korišćen za procenu genetičkih i fenotipskih korelacija između posmatranih osobina;
- WOMBAT (Meyer, 2007) – korišćen za procenu komponenti varijansi i priplodnih vrednosti.

4.2.2. Deskriptivna statistička analiza fenotipskih osobina

Osnovni fenotipski parametri procenjeni su primenom deskriptivne statistike, kako bi se dobio opšti uvid u fenotipsku izraženost i varijabilnost osobina telesne mase i dužine tela kod jedinki kalifornijske pastrmke. Ovi parametri su dobijeni uz pomoć PROC MEANS procedure u okviru SAS programskog paketa. Izračunati su standardni statistički parametri:

- broj jedinki (N),
- prosečna vrednost (\bar{x}),
- minimum (Min),
- maksimum (Max),
- varijansa (S^2),
- standardna devijacija (Sd) i
- koeficijent varijacije (Cv).

U cilju ispitivanja međugeneracijskih razlika u pogledu proizvodnih osobina, primenjena je jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA), dok je za utvrđivanje statističkih značajnosti između srednjih vrednosti različitih grupa korišćen Tukey post-hoc test ($p < 0,05$).

4.2.3. Uticaj ispitivanih faktora

Ispitivan je uticaj sledećih faktora: godina mresta (deset godina), tank (50 bazena), pol (tri klase pola: 1-mužjaci, 2-ženke i 3-nepoznat pol). Efekat ovih faktora ispitan je primenom General Linal Model (GLM) procedure u okviru SAS 9.4 programskog paketa.

4.2.4. Procena heritabiliteta i priplodnih vrednosti

U okviru istraživanja urađena je procena najvažnijih genetičkih parametara u ispitivanoj populaciji kalifornijske pastrmke, i to: komponenti varijanse i kovarijanse, koeficijenata naslednosti, koeficijenata genetičkih i fenotipskih korelacija, kao i priplodnih vrednosti za ispitivane osobine. Komponente varijansi procenjene su metodom ograničene maksimalne verovatnoće (REML), a priplodne vrednosti BLUP animal modelom, u okviru softvera WOMBAT. Korišćen je mešoviti linearni model koji je imao oblik:

$$Y = Xb + Za + e,$$

gde je:

Y – fenotipska ispoljenost,
 b – vektor fiksnih efekata,
 a – vektor aditivnih genetičkih efekata jedinki,
 X i Z – pripadajuće matrice,
 e – rezidualna greška.

Komponente varijansi, kao i priplodnih vrednosti za osobine TM5, D5, TM12 i D12 (TM = telesna masa, D = dužina tela) izračunate su korišćenjem sledećeg mešovitog modela:

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + P_j + T_k + M_{l(k)} + a_m + e_{ijklm},$$

U kojem je:

Y_{ijklm} – fenotipska ispoljenost ispitivane osobine,
 μ – opšti prosek populacije,
 G_i – fiksni uticaj i-te godine mresta ($i=1,2,3\dots 10$),
 P_j – fiksni uticaj j-tog pola individue ($i=1,2,3$),
 T_k – fiksni uticaj k-tog tanka ($1,2,3\dots 50$),
 $M_{l(k)}$ – ugnježden efekat l-te majke u okviru tanka ($1,2,3,\dots 50$),
 a_m – slučajni uticaj m-te individue,
 e_{ijklm} – slučajna greška.

Matematičko-statistički model koji je korišćen za procenu genetičkih varijansi i procenu priplodne vrednosti za osobine TM24, D24, TM36, D36, TM48 i D48 imao je sledeći oblik:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + P_j + a_k + e_{ijk},$$

U kojem je:

Y_{ijk} – fenotipska ispoljenost ispitivane osobine,
 μ – opšti prosek populacije,
 G_i – fiksni uticaj i-te godine mresta ($i=1,2,3\dots 10$),
 P_j – fiksni uticaj j-tog pola individue ($i=1,2,3$),

a_k – slučajni uticaj k-te individue,
 e_{ijk} – slučajna greška.

U oba modela uključen je slučajan efekat individue, za koji je konstruisana matrica srodstva. Ukupan broj riba obuhvaćenih pedigreom iznosio je 11610. Nakon kontrole kvaliteta podataka, iz analize su isključene jedinice sa nepoznatim pedigreom i jedinice sa nedostajućim fenotipskim podacima, tako da je u konačnu analizu uključeno 11591 jedinka. Broj jedinki sa fenotipskim zapisima iznosio je 11084, što predstavlja analizirani skup podataka. Od ukupnog broja jedinki, 507 nije imalo sopstvene fenotipske zapise ni za jednu ispitivanu osobinu, ali su u analizu uključene na osnovu rodoslovnih informacija.

Izračunate komponente varijanse poslužile su za procenu heritabiliteta posmatranih osobina, koristeći sledeći obrazac:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2},$$

gde je:

σ_a^2 – aditivna genetička varijansa,
 σ_p^2 – ukupna (fenotipska) varijansa, koja se sastoji iz aditivne genetičke varijanse, varijanse dominantnosti, varijanse epistaze i varijanse greške ($\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_i^2 + \sigma_e^2$).

Na osnovu vrednosti varijanse aditivne genetske varijanse, varijanse okoline i fenotipske varijanse, utvrđen je koeficijent naslednosti za posmatrane osobine. Koeficijent naslednosti predstavlja genetički parametar populacije i ne odnosi se na individue pojedinačno.

Priplodne vrednosti jedinki za telesnu masu (**TM**) i dužinu tela (**DT**) procenjene su primenom mešovutih linearnih modela u okviru programa WOMBAT BLUP metodom, uz uključivanje slučajnog uticaja individue za koju je formirana matrica srodstva. Za procenu priplodne vrednosti korišćen je isti mešoviti model prikazan i kod procene komponenti varijanse.

Radi poređenja priplodnih vrednosti između jedinki, izvršena je njihova standardizacija u odnosu na populaciju prema sledećem obrascu:

$$PV = \frac{(a - \bar{a})}{SD} * 10 + 100,$$

gde je:

PV – standardizovana priplodna vrednost,
a – procenjena priplodna vrednost jedinke,
 \bar{a} – prosečna vrednost celokupno analizirane populacije,
SD – standardna devijacija odstupanja u baznoj populaciji.

U okviru statističke obrade podataka, normalnost raspodele ispitivanih osobina testirana je primenom Kolmogorov-Smirnov-og testa, kako bi se proverila usklađenost distribucije rezultata priplodnih vrednosti sa normalnom raspodelom i opravdanost primene parametarskih statističkih metoda.

4.2.5. Procena genetičkog trenda

Genetički trend za posmatrane osobine procenjen je primenom linearne regresione analize u SAS 9.4 programskom paketu. Kao zavisna promenljiva korišćena je srednja vrednost standardizovanih priplodnih vrednosti za jedinke rođene u toj godini, dok je godina mresta (rođenja) uključena kao nezavisna promenljiva.

Regresioni model je imao sledeći oblik:

$$Y_i = b_0 + b_1x_i + e_i,$$

gde je:

y_i – srednja priplodna vrednost,
 b_0 – parametar regresije,
 b_1 – koeficijent genetičkog trenda (regresije),
 x_1 – godina mresta (rođenja),
 e_i – slučajna greška.

4.2.6. Procena koeficijenta inbridinga

Koeficijent inbridinga procenjen je korišćenjem matrice srodstva u okviru softverskog paketa WOMBAT. Na osnovu dostupnih podataka o poreklu izvršena je procena nivoa genetičke povezanosti i prisustva inbridinga u populaciji kalifornijske pastrmke.

4.2.7. Procena genetičkih i fenotipskih korelacija

Komponente genetičkih i fenotipskih korelacija su procenjene primenom identičnog matematičko-statističkog modela koji su prikazani ranije, u okviru programskog paketa VCE v6 (Groeneveld i sar., 2010).

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Fenotipska ispoljenost i varijabilnost osobina telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke

Fenotipske osobine telesne mase i dužine tela, kao i njihove varijabilnosti tokom proizvodnog ciklusa kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*), prikazane su u sledećim tabelama (**Tabele 6-9**) za generaciju F1, F2, F3, F4, kao i za celu populaciju (**Tabela 10**) koja je obuhvaćena programom selekcije sprovedenim od 2011. godine do 2020. godine. Kako bi se omogućio detaljan uvid u genetičku varijabilnost osobina telesne mase i dužine tela, u prilogu su predstavljeni podaci za svaku godinu pojednično (Prilog: **Tabele 2-11**). Rezultati su prikazani prema uzrasnim kategorijama sa 5, 12, 24, 36 i 48 meseci. Broj jedinki sa 5 meseci starosti je broj jedinki sa čipovanja, kada je iz svake familije čipovano 30-50 jedinki. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela u F1 generaciji prikazani su u **tabeli 6**.

Tabela 6. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke F1 generacije

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 2480 | 7,48 | 1,76 | 38,50 | 18,11 | 4,25 | 56,87 |
| | D | | 83,41 | 50,00 | 160,00 | 177,07 | 13,30 | 15,95 |
| 12 | TM | 1264 | 85,01 | 15,00 | 252,54 | 1122,31 | 33,50 | 39,40 |
| | D | | 197,61 | 102,00 | 297,60 | 654,19 | 25,57 | 12,94 |
| 24 | TM | 710 | 539,53 | 270,00 | 1445,00 | 19946,10 | 141,23 | 26,17 |
| | D | | 359,68 | 270,00 | 510,00 | 991,94 | 31,49 | 8,75 |
| 36 | TM | 511 | 1094,48 | 500,00 | 2020,00 | 55141,64 | 234,82 | 21,45 |
| | D | | 447,70 | 350,00 | 570,00 | 1051,81 | 32,43 | 7,24 |
| 48 | TM | 131 | 1455,08 | 930,00 | 2380,00 | 89883,84 | 299,80 | 20,60 |
| | D | | 487,90 | 400,00 | 600,00 | 1239,21 | 35,20 | 7,21 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; Min – minimalna vrednost; Max – maksimalna vrednost; S² – variansa, Sd – standardna devijacija; Cv (%) – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Analizom dobijenih podataka F1 generacije, u uzrastu sa 5 meseci izmerena je telesna masa i dužina tela 2480 jedinki. Vrednost telesne mase se kretala od 1,76 g (min), pa do 38,50 g (max), prosečna izmerena telesna masa je bila $7,48 \pm 4,25$. Koeficijent varijacije za telesnu masu u ovom uzrastu iznosio je 56,87%. U istom uzrastu najmanja izmerena dužina tela bila je 50 mm, a najviša 160 mm. Prosečna dužina tela je iznosila 83,41 mm, sa standardnom devijacijom od 13,30 mm i koeficijentom varijacije od 15,95%. Vrednosti koeficijenta varijacije za telesnu masu i dužinu tela

ukazuju na izraženu heterogenost populacije u ranoj fazi razvoja, što je očekivano usled različite brzine rasta jedinki nakon perioda adaptacije na odgajivačke uslove.

Sa uzrastom od 12 meseci starosti broj izmerenih jedinki u F1 generaciji je iznosio 1264. Prosečna vrednost telesne mase izosila je $85,01\text{ g} \pm 33,50\text{ g}$. Telesna masa se kretala od 15 g do 252,54 g, a koeficijent varijacije je iznosio 39,40%. Dužina tela se kretala od 102 mm, pa do 297,60 mm, sa prosečnom izmerenom dužinom tela od 197, 61 mm. Standardna devijacija je bila 25,57 mm, a koeficijent varijacije 12,94%.

U narednom uzrastu (24 meseca starosti) izmereno je 710 jedinki. Njihova prosečna telesna masa iznosila je $539,53\text{ g} \pm 141,23\text{ g}$. Najmanja izmerena telesna masa iznosila je 270 g, a najviša 1445 g. Koeficijent varijacije u posmatranom uzrastu je bio 26,17%. Prosečna izmerena dužina tela iznosila je $359,68\text{ mm} \pm 31,49\text{ mm}$. Vrednosti dužine tela su se kretale od 270 mm do 510 mm, dok je koeficijent varijacije iznosio 8,75%.

U 36-om mesecu starosti na kontrolnom merenju imereno je 511 jedinki. Kada je u pitanju telesna masa možemo videti da je prosečna vrednost iznosila 1094,48 g, a da su se vrednosti telesne mase kretale od 500 g do 2020 g. Vrednost standardne devijacije je iznosila 234,82 g, a koeficijenta varijacije 21,45%. Dužina tela u ovom uzrastu se kretala od 350 mm do 570 mm, sa prosečnom izmerenom vrednošću od $447,70\text{ mm} \pm 32,43\text{ mm}$. Vrednost koeficijenta varijacije iznosila je 7,24%. Kada uporedimo prosečnu telesnu masu sa 24 meseca i sa 36 meseci, vidimo da je došlo do značajnog prirasta, dok koeficijent varijacije opada, što ukazuje na homogenizaciju rasta pod uticajem selekcije i standardizovanih uslova gajenja.

Sa 48 meseci starosti broj izmerenih jedinki je iznosio 131. Prosečna telesna masa je iznosila $1455,08\text{ g} \pm 299,80\text{ g}$. Najmanja izmerena telesna masa je iznosila 930 g a najveća 2380 g, dok je koeficijent varijacije iznosio 20,60%. Dužina tela se kretala od 400 mm do 600 mm, a prosečna vrednost je iznosila 487,90 mm. Koeficijent varijacije je iznosio 7,21%, dok je standardna devijacija iznosila 35,20 mm. Heterogenost osobina je umerenija u odnosu na rani uzrast, ali je i dalje prisutna.

Vrednosti F1 generacije pokazuju klasičan obrazac rasta koji je uobičajen kod salmonidnih vrsta. Analizom fenotipskih parametara u različitim uzrastima može se uočiti da starenjem jedinki varijabilnost ispitivanih osobina postepeno se smanjuje. Dobijeni rezultati se mogu objasniti činjenicom da se tokom rasta i razvoja jedinki postepeno smanjuje uticaj početnih razlika između jedinki, dok se efekti genetičkog potencijala i uslova gajenja stabilizuju (Kause i sar., 2003; Gjedrem i Baranski, 2009). Tumačenjem ovih rezultata mora se uzeti u obzir i broj jedinki uključenih u izračunavanje statističkih parametara u svakom uzrastu. Kod mladih uzrasta u analizu je bio uključen veći broj jedinki, jer mortalitet i smanjen broj jedinki usled selekcije još uvek nije značajno uticao na strukturu populacije. Promena u broju posmatranih jedinki može uticati na procenu varijabilnosti, jer manji uzorci često dovode do ujednačenijih prosečnih vrednosti i smanjenja raspona varijacije (Falconer i Mackay, 1996).

Tabela 7. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke F2 generacije

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 4085 | 7,77 | 1,80 | 26,10 | 6,20 | 2,49 | 32,00 |
| | D | | 93,21 | 64,00 | 145,00 | 111,38 | 10,55 | 11,32 |
| 12 | TM | 2696 | 130,88 | 15,00 | 395,00 | 4916,13 | 70,11 | 53,57 |
| | D | | 222,69 | 115,00 | 325,00 | 1300,22 | 36,05 | 16,19 |
| 24 | TM | 1007 | 628,80 | 295,00 | 1015,00 | 18383,64 | 135,58 | 21,56 |
| | D | | 379,86 | 280,00 | 470,00 | 818,66 | 28,61 | 7,53 |
| 36 | TM | 685 | 1120,44 | 610,00 | 2500,00 | 148812,67 | 385,76 | 34,42 |
| | D | | 440,24 | 350,00 | 540,00 | 945,37 | 30,74 | 6,98 |
| 48 | TM | 176 | 1933,30 | 750,00 | 3120,00 | 235606,22 | 485,39 | 25,10 |
| | D | | 523,06 | 420,00 | 620,00 | 1876,25 | 43,31 | 8,28 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; Min – minimalna vrednost; Max – maksimalna vrednost; S² – variansa, Sd – standardna devijacija; Cv (%) – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

U tabeli 7 su prikazane vrednosti fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela F2 generacije kalifornijske pastrmke. U uzrastu od 5 meseci, izvršena su merenja 4085 jedinki. Telesna masa se kretala od 1,80 g (min) do 26,10 g (max), dok je prosečna vrednost iznosila 7,77 g ± 2,49 g. Koeficijent varijacije za telesnu masu iznosio je 32%. U istom uzrastu dužina tela se kretala od 64 mm do 145 mm, sa prosečnom izmerenom vrednošću od 93,21 mm ± 10,55 mm i koeficijentom varijacije od 11,32%.

U uzrastu od 12 meseci izmereno je 2696 jedinki. Prosečna telesna masa iznosila je 130,88 g ± 70,11 g, pri čemu su vrednosti varirale od 15 g do 395 g. Koeficijent varijacije iznosio je 53,57% (visok kefcijent varijacije). Dužina tela kretala se u rasponu od 115 mm do 325 mm, sa prosečnom vrednošću od 222,69 mm ± 36,05 mm i koeficijentom varijacije od 16,19%. Uzrast od 12 meseci karakteriše povećana varijabilnost telesne mase, što ukazuje na prisustvo različitih genotipova sa neujednačenom brzinom rasta.

U uzrastu sa 24 meseca izmereno je 1007 jedinki, sa prosečnom telesnom masom od 628,80 g ± 135,58 g. Najmanja izmerena telesna masa iznosila je 295 g, a najveća 1015 g. Koeficijent varijacije telesne mase iznosio je 21,56%. Prosečna dužina tela iznosila je 379,86 mm ± 28,61 mm, sa rasponom od 280 mm do 470 mm, dok je koeficijent varijacije iznosio 7,53%.

U uzrastu od 36 meseci pregledano je i izmereno 685 jedinki. Prosečna telesna masa iznosila je 1120,44 g, sa standardnom devijacijom od 385,76 g. Najmanja izmerena telesna masa iznosila je 610 g, a najveća 2500 g. Koeficijent varijacije je iznosio 34,42%. Dužina tela se kretala u rasponu

od 350 mm do 540 mm, sa prosečnom izmerenom vrednošću od 440,24 mm \pm 30,74 mm i koeficijentom varijacije od 6,98%.

Na kraju, u uzrastu od 48 meseci izmereno je 176 jedinki. Prosečna telesna masa iznosila je 1933,30 g \pm 485,39 g, sa rasponom od 750 g do 3120 g i sa koeficijentom varijacije od 25,10%. Dužina tela kretala se od 420 mm do 620 mm, dok je prosečna vrednost dužine tela iznosila 523,06 mm \pm 43,31 mm, uz koeficijent varijacije od 8,28%. U ovom uzrastu je smanjen koeficijent varijacije za obe osobine u odnosu na osobine sa 12 meseci starosti, što potvrđuje uticaj selekcije na jedinke sa superiornim fenotipskim performansama.

F2 generacija pokazuje izraženu varijabilnost telesne mase u 5-om i 12-om mesecu starosti, što ukazuje na povećanu genetičku raznolikost unutar populacije. Praćenje varijabilnosti osobina u ranim fazama rasta je od velikog značaja, jer mogu uticati na selekcijski napredak u kasnijim uzrastima jedinki (Sae-Lim i sar., 2015).

Tabela 8. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke F3 generacije

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|---------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 3230 | 9,95 | 2,0 | 32,10 | 15,72 | 3,96 | 39,81 |
| | D | | 92,47 | 50,00 | 135,00 | 145,30 | 12,05 | 13,03 |
| 12 | TM | 1413 | 303,50 | 50,00 | 513,00 | 3158,56 | 56,20 | 18,51 |
| | D | | 299,90 | 170,00 | 355,00 | 441,01 | 21,00 | 7,00 |
| 24 | TM | 1492 | 664,17 | 280,00 | 1660,00 | 48008,92 | 219,10 | 32,98 |
| | D | | 377,78 | 290,00 | 500,00 | 1276,66 | 35,73 | 9,45 |
| 36 | TM | 691 | 1519,08 | 760,00 | 2770,00 | 88440,86 | 297,39 | 19,57 |
| | D | | 487,43 | 390,00 | 600,00 | 1140,94 | 33,77 | 6,92 |
| 48 | TM | 204 | 1967,97 | 1180,00 | 2950,00 | 139379,71 | 373,33 | 18,97 |
| | D | | 530,98 | 440,00 | 650,00 | 1192,14 | 34,52 | 6,50 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; Min – minimalna vrednost; Max – maksimalna vrednost; S² – variansa, Sd – standardna devijacija; Cv (%) – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Vrednosti iz **tabele 8** prikazuju fenotipsku ispoljenost i varijabilnost osobina kalifornijske pastrmke F3 generacije. Ukupan broj jedinki koji je izmeren u uzrastu sa 5 meseci iznosio je 3230. Telesna masa kretala se u rasponu od 2 g do 32,10 g, sa prosečnom vrednošću od 9,95 g \pm 3,96 g. Dobijeni koeficijent varijacije iznosio je 39,81%. Dužina tela u istom uzrastu varirala je od 50 mm do 135 mm, sa prosekom od 92,47 mm \pm 12,05 mm i koeficijentom varijacije od 13,03%.

U uzrastu od 12 meseci, merenjem 1413 jedinke utvrđeno je da se telesna masa kretala od 50 g do 513 g, sa prosečnom vrednošću od 303, 50 g \pm 56,20 g i varijabilnošću od 18,51%. Dužina tela u ovom uzrastu bila je u rasponu od 170 mm do 355 mm, dok je prosečna dužina iznosila 299,90 mm \pm 21 mm, uz koeficijent varijacije od 7%. Tokom uzrasta od 24 meseca analizirano je 1492 jedinke. Prosečna telesna masa izmerenih jedinki iznosila je 664,17 g \pm 219,10 g, sa rasponom vrednosti od 280 g do 1660 g i koeficijentom varijacije od 32,98%. Dužina tela varirala je od 290 mm do 500 mm, sa prosečnom vrednošću od 377,78 mm \pm 35,73 mm. Koeficijent varijacije za dužinu tela iznosio je 9,45%. Kod jedinki starih 36 meseci, ukupno je pregledano i izmereno 691 jedinka. Može se videti da se telesna masa kretala od 760 g, pa sve do 2770 g, sa prosečnom vrednošću od 1519,08 g \pm 297,39 g, dok je koeficijent varijacije iznosio 19,57%. Dužina tela jedinki iz ove grupe iznosila je u proseku od 487,43 mm, u rasponu od 390 mm do 600 mm, sa koeficijentom varijacije od 6,92% i sa standardnom devijacijom od 33,77 mm. Na kraju posmatranog uzrasta F3 generacije, u uzrastu od 48 meseci, merenjem 204 jedinke, utvrđeno je da se telesna masa kretala od 1180 g do 2950 g, sa prosečnom vrednošću od 1967,97 g \pm 373,33 g i koeficijentom varijacije koji je iznosio 18,97%. U ovom uzrastu dužina tela je varirala od 440 mm do 650 mm, dok je prosečna dužina tela iznosila 530,98 mm \pm 34,52 mm, sa koeficijentom varijacije od 6,50%. Povećanjem uzrasnog perioda jedinki u F3 generaciji se uočava trend smanjenja varijabilnosti, posebno kod dužine tela, dok vrednosti telesne mase u ranoj fazi ostaju sa visokim koeficijentom varijacije. Vrednosti telesne mase u ovoj generaciji su pokazatelji ujednačenijeg rasta u odnosu na prethodne generacije. Ovakav odnos prosečnih vrednosti osobina i koeficijenta varijacije potvrđuje doslednost odgajivačkog programa koji se sprovodi.

Tabela 9. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke F4 generacije

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|---------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1289 | 6,49 | 2,60 | 18,63 | 3,50 | 1,87 | 28,81 |
| | D | | 84,49 | 55,00 | 127,00 | 67,10 | 8,19 | 9,69 |
| 12 | TM | 1003 | 414,68 | 107,20 | 649,90 | 4504,87 | 67,11 | 16,18 |
| | D | | 409,55 | 229,50 | 479,25 | 669,88 | 25,88 | 6,31 |
| 24 | TM | 814 | 558,04 | 280,00 | 1010,00 | 10922,02 | 104,50 | 18,72 |
| | D | | 365,10 | 280,00 | 440,00 | 479,26 | 21,89 | 5,99 |
| 36 | TM | 768 | 881,43 | 455,00 | 1620,00 | 27221,54 | 164,98 | 18,71 |
| | D | | 413,13 | 320,00 | 610,00 | 822,41 | 28,67 | 6,94 |
| 48 | TM | 253 | 2184,71 | 1060,00 | 3800,00 | 310730,99 | 557,43 | 25,51 |
| | D | | 522,88 | 410,00 | 630,00 | 2019,02 | 44,93 | 8,59 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; Min – minimalna vrednost; Max – maksimalna vrednost; S² – variansa, Sd – standardna devijacija; Cv (%) – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Analizom rezultata iz **tabele 9** deskriptivne statistike F4 generacije, u 5-om mesecu starosti izmereno je 1289 jedinki. Telesna masa varirala je od 2,6 g do 18,63 g, dok je prosečna vrednost iznosila $6,49 \text{ g} \pm 1,87 \text{ g}$. Koeficijent varijacije iznosio je 28,81%. Dužina tela kretala se između 55 mm i 127 mm, a srednja vrednost je iznosila $84,49 \text{ mm} \pm 8,19 \text{ mm}$, sa koeficijentom varijacije od 9,69%.

U uzrastu sa 12 meseci merenjem je obuhvaćeno 1003 jedinke. Prosečna telesna masa iznosila je $414,68 \text{ g} \pm 67,11 \text{ g}$, pri čemu su ekstremne vrednosti bile između 107,20 g i 649,90 g. Vrednost koeficijenta varijacije je iznosila 18,72%. Dužina tela u ovom uzrastu kretala se od 229,50 mm do 479,25 mm, sa prosečnom vrednošću od $409,55 \text{ mm} \pm 25,88 \text{ mm}$ i koeficijentom varijacije od 6,31%.

Sa navršenih 24 meseca starosti zabeležena su merenja kod 814 jedinki. Srednja vrednost telesne mase iznosila je $558,04 \text{ g} \pm 104,50 \text{ g}$, pri čemu su pojedinačne vrednosti varirale u intervalu od 280 g do 1010 g, dok su vrednosti koeficijenta varijacije iznosile 18,72%. Dužina tela je bila u rasponu od 280 mm do 440 mm, sa prosečnom vrednošću od $365,10 \text{ mm} \pm 21,89 \text{ mm}$, što odgovara koeficijentu varijacije od 5,99%.

Kontrolna merenja sprovedena u uzrastu od 36 meseci obuhvatila su 768 jedinki. Njihova prosečna telesna masa iznosila je $881,43 \text{ g} \pm 164,98 \text{ g}$, dok su ekstremne vrednosti bile između 455 g i 1620 g. U ovom uzrastu varijabilnost telesne mase je iznosila 18,71%. Dužina tela ovih starosnih jedinki se kretala od 320 mm do 610 mm, sa prosečnom vrednošću od $413,13 \text{ mm} \pm 28,67 \text{ mm}$ i koeficijentom varijacije od 6,94%.

U završnom uzrastu istraživanja F4 generacije, sa 48 meseci starosti izmereno je 253 jedinke. Prosečna telesna masa dostigla je $2184,71 \text{ g} \pm 557,43 \text{ g}$, sa vrednostima u intervalu od 1060 g do 3800 g i koeficijentom varijacije od 25,51%. Dužina tela ove najstarije posmatrane kategorije jedinki riba se kretala između 410 mm i 630 mm, sa prosečnom vrednošću koja je iznosila $522,88 \text{ mm} \pm 44,93 \text{ mm}$ i varijabilnošću od 8,59%.

Kroz srednje uzrasne periode F4 generacije zabeležen je stabilan rast telesne mase i dužine tela, sa nižim vrednostima koeficijenta varijacije, dok se u uzrastu sa 48 meseci beleži porast koeficijenta varijacije (koeficijent varijacije za telesnu masu 25,51%). Rezultati dobijeni za F4 generaciju su odličan pokazatelj kako selekcija kroz uzastopne generacije doprinosi povećanju proizvodne stabilnosti i genetičke ujednačenosti populacije.

Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela u proizvodnom ciklusu kalifornijske pastrmke za celu populaciju dati su **tabeli 10**. Tokom sprovođenja programa selekcije broj jedinki je iz godine u godinu smanjivan. Posmatrajući celu populaciju (jedinke obuhvaćene selekcijom od 2011-te do 2020-te godine) ukupan broj jedinki sa 5 meseci starosti je bio 11084, a sa 48 meseci 764 jedinki. Broj jedinki se smanjivao prilikom svakog merenja, a na osnovu kriterijuma zadržavanja jedinki sa najboljim fenotipskim i proizvodnim karakteristikama za dalje gajenje, uz eliminaciju jedinki lošijih karakteristika iz programa selekcije.

Tabela 10. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke cele populacije

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | <i>N</i> | \bar{X} | <i>Min</i> | <i>Max</i> | <i>S</i> ² | <i>Sd</i> | <i>Cv</i> (%) |
|-------------------------|---------|----------|-----------|------------|------------|-----------------------|-----------|---------------|
| 5 | TM | 11084 | 8,19 | 1,76 | 38,50 | 12,74 | 3,56 | 43,54 |
| | D | | 89,79 | 50,00 | 160,00 | 149,55 | 12,22 | 13,61 |
| 12 | TM | 6372 | 204,56 | 15,00 | 649,90 | 17934,90 | 133,92 | 65,46 |
| | D | | 264,22 | 102,00 | 479,25 | 6096,53 | 78,08 | 29,55 |
| 24 | TM | 4023 | 611,84 | 270,00 | 1660,00 | 30715,89 | 175,25 | 28,64 |
| | D | | 372,54 | 270,00 | 510,00 | 1013,75 | 31,83 | 8,54 |
| 36 | TM | 2655 | 1150,06 | 455,00 | 2770,00 | 136966,78 | 370,09 | 32,18 |
| | D | | 446,11 | 320,00 | 610,00 | 1748,75 | 41,81 | 9,37 |
| 48 | TM | 764 | 1943,81 | 750,00 | 3800,00 | 269496,71 | 519,13 | 26,70 |
| | D | | 519,09 | 400,00 | 650,00 | 1838,72 | 42,88 | 8,26 |

Skraćenice: **N** – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Analizirajući uzrast sa 5 meseci broj jedinki kod kojih je merena telesna masa i dužina tela iznosio je 11084. U ovom uzrastu najmanja izmerena telesna masa je 1,76 g, a najviša izmerena vrednost iznosila je 38,50 g. Prosečna vrednost za telesnu masu je iznosila je $8,19 \pm 3,56$ g, dok su vrednosti koeficijenta varijacije iznosile 43,54%. Najmanja izmerena dužina tela sa 5 meseci starosti iznosila je 50 mm, a najviša 160 mm. Prosečna izmerena dužina iznosila je $89,79 \pm 12,22$ mm. Dobijena vrednost koeficijenta varijacije za dužinu tela (13,61%) je manja, u odnosu na koeficijent varijacije za telesnu masu (43,54%).

U uzrastu sa 12 meseci izmereno je 6372 jedinke. U ovom uzrastu telesna masa se kretala od 15 g (min) do 649,90 g (max), dok je prosečna telesna masa bila 204,56 g. Vrednost standardne devijacije je iznosila 133,92 g, dok je vrednost koeficijenta varijacije iznosila 65,46%. U ovom uzrastu vrednost koeficijenta varijacije telesne mase je veća u odnosu na koeficijent varijacije za osobinu telesne mase u 5-om mesecu. Kada se posmatra dužina sa 12 meseci starosti, najmanja izmerena dužina iznosila je 102 mm, a maksimalna 479,25 mm, sa prosečnom izmerenom dužinom tela od 264,22 mm. Vrednost standardne devijacije bila je 78,08, a vrednost koeficijenta varijacije je 29,55%.

Sa 24 meseca starosti izmerena je telesna masa i dužina tela 4023 jedinke, sa prosečnom telesnom masom od 611,84 g. Minimalna telesna masa je bila 270 g, a maksimalna 1660 g. Vrednost standardne devijacije iznosila je 175,25 g, a koeficijenta varijacije iznosila je 28,64%. Koeficijent varijacije za telesnu masu je nešto manjih vrednosti u odnosu na telesnu masu sa 5 i 12 meseci starosti. Prosečna izmerena dužina u ovom uzrastu iznosila je 372,54 mm, sa minimalnom

vrednošću od 270 mm i maksimalnom vrednošću od 510 mm. Koeficijent varijacije iznosio je 8,54%, a standardna devijacija je iznosila 31,83 mm.

U 36-om mesecu starosti imereno je 2655 jedinki. Najmanja telesna masa je bila 455 g, a najveća 2770 g, sa prosečnom telesnom masom od $1150,06 \pm 370,09$ g. Vrednost koeficijenta varijacije iznosila je 32,18%. Prosečna dužina tela u ovom uzrastu je bila 446,11 mm, sa minimalnom vrednošću od 320 mm i maksimalnom od 610 mm. Koeficijent varijacije za dužinu tela iznosio je 9,37%, sa standardnom devijacijom od 41,81 mm.

Isključenje slabo produktivnih jedinki, uginuća i slični razlozi uticali su na smanjenje broja jedinki iz godine u godinu. Tako je broj izmerenih jedinki u 48-om mesecu starosti iznosio 764. Analizirane vrednosti telesnih masa su se kretale od 750 g do 3800 g, sa prosečnom telesnom masom od 1943,81 g. Standardna devijacija iznosila je 519,13 g, a koeficijent varijacije 26,70%. Prosečna dužina tela izmerena u ovom uzrastu je iznosila $519,09 \pm 42,88$ mm, sa minimalnom dužinom tela od 400 mm i sa maksimalnom dužinom od 650 mm. Koeficijent varijacije iznosio je 8,26%. Telesna masa i dužina tela u ovom uzrastu imale su najmanje vrednosti koeficijenta varijacije u poređenju sa prethodnim uzrastima.

Celu populaciju kalifornijske pastrmke karakteriše visoka varijabilnost telesne mase i dužine tela u ranim fazama razvoja, sa trendom smanjenja varijabilnosti kod starijih jedinki. Izražen porast prosečne telesne mase i dužine tela sa starošću, uz tendenciju smanjenja koeficijenta varijacije, poklapaju se sa dokumentovanim obrascima rasta i odgovorima selekcije kod kalifornijske pastrmke (Gjedrem, 1992; Bijma i Woolliams, 2000; Callet i sar., 2017). Visoka varijabilnost osobina u ranoj fazi predstavlja potencijalni rezervoar za dalji genetički napredak, dok njeno smanjenje kod starijih jedinki olakšava proizvodnu predvidivost i optimizaciju uslova gajenja (Gjerem, 2000; Sae-Lim i sar., 2015). Dobijeni fenotipski podaci jasno pokazuju da selekcijski pritisak i kontrolisani uslovi gajenja značajno oblikuju dinamiku rasta kalifornijske pastrmke. Visoka varijabilnost telesne mase u najranijem uzrastu (5 meseci) ukazuje na značajnu heterozigotnost populacije, do koje dolazi usled različitog genetičkog potencijala, individualnih razlika u brzini rasta i različitih uslova gajenja. Smanjena varijabilnost dužine tela sugerise da dužina tela ima manje varijacije nego telesna masa, što je u skladu sa literaturom koja ukazuje da telesna masa ima veću fenotipsku varijabilnost od ostalih telesnih dimenzija riba (Hu i sar., 2013).

Kako ribe rastu tako prosečne vrednosti telesne mase i dužine tela kod svih generacija rastu, a što je očekivano u proizvodnom ciklusu. Istovremeno, koeficijent varijacije opada, naročito kod dužine tela (čak ispod 10% kod starijih uzrasta kao što je u 24-om, 36-om i 48-om meseci). Odgajivački programi mogu uticati na smanjenje fenotipske varijabilnosti i na povećanje uniformnosti rasta, što je poželjno u akvakulturi (Sae-Lim i sar., 2015).

Koeficijent varijabilnosti posmatranih osobina je najniži u svim generacijama u uzrastu sa 48 meseci, što implicira da selekcija ima značajan efekat ne samo na povećanje srednje vrednosti telesne mase, nego i na smanjenje broja individua i heterozigotnosti u populaciji (D'Ambrosio i sar., 2019). Ovakav efekat selekcije povećava predvidivost performansi jedinki i može smanjiti rizike u proizvodnim sistemima. Sa druge strane homozigotnost populacije može imati negativne efekte, kada može doći do pojave inbriding depresije. Uspostavljanje odgajivačkog programa i standardizacija odgajivačkih uslova (temperature, ishrana, gustina nasada) doprineli su ostvarenom napretku i smanjenoj fenotipskoj raznolikosti (Gjedrem i sar., 2012).

U poređenju sa drugim vrstama riba, dobijeni obrasci rasta i varijabilnosti telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke delimično se poklapaju sa rezultatima kod atlantskog lososa (*Salmo salar*), gde su zabeleženi visoki koeficijenti varijacije telesne mase kod ranih uzrasta i njihovo smanjenje kod starijih uzrasta (Kause i sar., 2005). Visoka fenotipska varijabilnost telesne

mase se javlja i kod nilske tilapije u ranim uzrastima (*Oreochromis niloticus*), dok selekcija i uniformni uslovi gajenja dovode do smanjenja varijabilnosti u kasnijim fazama rasta (Nguyen i sar., 2010).

Današnji pristup selekciji pomera fokus sa fenotipske selekcije na uključivanje genomske informacije u odgajivačke programe. Razvoj molekularnih metoda i dostupnost genetičkih markera omogućili su pouzdanije procene priplodne vrednosti jedinki. Istraživanja pokazuju da genomski pristup selekciji omogućava preciznija predviđanja proizvodnih osobine (Fraslin i sar., 2023; García i sar., 2023).

Rezultati prikazani u **tabeli 11** ukazuju na postojanje jasnih međugeneracijskih razlika telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke tokom različitih starosnih uzrasta. Kod većine posmatranih starosnih uzrasta zapažena su značajna povećanja telesne mase i dužine tela, upućujući na potencijalni selekcijski efekat, ali i na interakcije između genotipa i faktora spoljašnje sredine (Sae-Lim i sar., 2013).

Tabela 11. Međugeneracijske razlike osobina telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke

| Uzrast prilikom merenja (meseći) | Generacija | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | F1 | F2 | F3 | F4 |
| TM5 (g) | 7,48 ^c | 7,77 ^b | 9,95 ^a | 6,49 ^b |
| D5 (mm) | 83,41 ^c | 93,21 ^a | 92,47 ^a | 84,49 ^b |
| TM12 (g) | 85,01 ^d | 130,88 ^c | 303,50 ^b | 414,68 ^a |
| D12 (mm) | 197,61 ^d | 222,69 ^c | 299,90 ^b | 409,55 ^a |
| TM24 (g) | 539,53 ^c | 628,80 ^b | 664,17 ^a | 558,04 ^c |
| D24 (mm) | 359,68 ^c | 379,86 ^a | 377,78 ^a | 365,10 ^b |
| TM36 (g) | 1094,47 ^d | 1120,43 ^c | 1519,08 ^b | 1610 ^a |
| D36 (mm) | 447,70 ^b | 440,24 ^c | 487,43 ^a | 413,13 ^d |
| TM48 (g) | 1455,07 ^c | 1933,29 ^b | 1967,96 ^b | 2184,71 ^a |
| D48 (mm) | 487,90 ^b | 523,06 ^a | 530,98 ^a | 522,88 ^a |

Skraćenice: F1: generacija; F2: generacija; F3: generacija; F4: generacija. Srednje vrednosti sa različitim slovom se statistički značajno razlikuju, prema *Tukey*-evom testu ($p < 0,05$). **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Analizirajući dobijene podatke iz prethodne tabele, u uzrastu sa 5 meseci F3 generacija imala je najveću telesnu masu, a dužinu tela bila je najveća u F2 generaciji, što značajno nadmašuju ostale generacije ($p < 0,05$). Ovo može ukazivati na brži rani rast kod F3 generacije, što je važna karakteristika u intenzivnom gajenju pastrmke. Sa druge strane, F4 generacija je imala nešto niži rast telesne mase i dužine tela, iako su joj vrednosti bliske vrednostima F1 generacije.

Sa 12 meseci starosti zabeležen je izražen porast vrednosti telesne mase i dužine tela kod F4 generacije u odnosu na ostale generacije, dok F2 generacija pokazuje veće vrednosti u odnosu na F1 generaciju, kao i F3 generacija u odnosu na F2 generaciju. Ovi rezultati ukazuju na kontinuirano poboljšanje proizvodnih osobina kroz generacijski napredak, što je u skladu sa nalazima sličnih selekcijskih programa kod pastrmke (Gjedrem, 2010; Vandeputte i sar., 2022).

U 24-om mesecu starosti razlike između generacija u vrednostima telesne mase i dužine tela su bile manje izražene u odnosu na ranije uzraste. Najveća vrednost telesne mase bila je u F3 generaciji, dok su najniže vrednosti bile u F1 i F4 generaciji. Zanimljivo da je F4 generacija imala izrazit rast u 12-om mesecu starosti, a da je u 24-om mesecu pokazala usporeniji prirast, što može ukazivati na generacijske razlike u dinamici rasta.

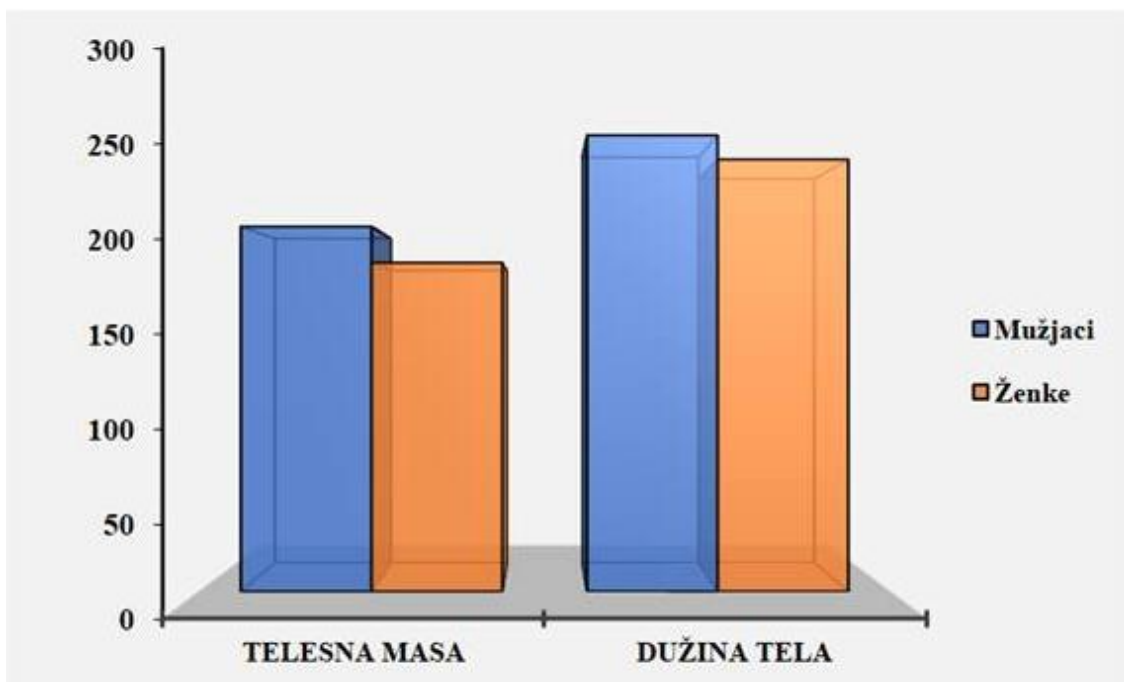
U kasnijim uzrastima, naročito sa 36 i 48 meseci starosti, vrednosti telesne mase F4 generacije ponovo dolaze do izražaja. Sa 36 i 48 meseci starosti, F4 generacija je imala najveće vrednosti telesne mase, što ukazuje na stabilan rast u kasnijoj životnoj dobi. Generacija F3, iako je imala nešto niže vrednosti od F4, zauzima drugo mesto po većini parametara. F1 generacija je u svim uzrastima imala najniže ili među najnižim vrednostima, što je očekivano jer predstavlja polaznu generaciju gde nije bilo uticaja selekcije.

Analiza dužine tela pokazuje slične trendove kao i telesna masa. Uglavnom najveće vrednosti dužina tela ostvaruje u F2 i F3 generaciji, a najniže u F1 generaciji. Prikazana statistička značajna razlika između generacija kod većine uzrasta ukazuje da je generacijski efekat stabilan i jasno izražen.

Sveobuhvatno posmatrano, rezultati ukazuju da su najveće vrednosti prirasta ostvarene u F3 i F4 generaciji u odnosu na F1 generaciju. Ovakav rezultat je tipičan za dobro sprovedene odgajivačke programe u akvakulturi, kod kojih se tokom nekoliko generacija akumuliraju povoljne genetičke osobine, koje doprinose povećanom rastu i efikasnijoj proizvodnji. Slične trendove genetičkog napretka kod kalifornijske pastrmke navode Kause i sar. (2005), koji ukazuju da dugoročni odgajivački programi dovode do povećanja telesne mase, ali istovremeno zahtevaju pažljivo upravljanje genetičkom varijabilnošću osobina. Povećanje proizvodnih performansi često prati i porast nivoa inbridinga, što može imati negativne posledice (Pante i sar., 2001). Značajne razlike između generacija daju potvrdu da selekcija još nije dostigla maksimum, tj. da postoji prostor za dalji genetički napredak praćenih osobina kalifornijske pastrmke (Gjedrem, 2010; Vandeputte i sar., 2022; Kurta i sar., 2023).

5.2. Polni dimorfizam kalifornijske pastrmke

Detaljnou analizom proizvodnih osobina jedinki, koje su razvrstane prema polu kod celokupne populacije kalifornijske pastrmke utvrđene su značajne razlike u stopi rasta u uzrastu sa 12 meseci starosti (**Grafikon 1**), pri čemu su mužjaci ostvarili veće vrednosti telesne mase i dužine tela u odnosu na ženke.



Grafikon 1. Prosečne vrednosti telesne mase (g) i dužine tela (mm) mužjaka i ženki kalifornijske pastrmke sa 12 meseci starosti

Na **grafikonu 1** su prikazane prosečne vrednosti telesne mase i ukupne dužine tela mužjaka i ženki u uzrastu sa 12 meseci starosti. Analizom podataka, prosečna telesna masa mužjaka sa 12 meseci starosti iznosila je 212 g, dok je kod ženki ta vrednost za telesnu masu iznosila 191 g, što ukazuje da su mužjaci imali oko 11% veću telesnu masu u odnosu na ženke. Kada je u pitanju dužina tela, mužjaci su imali prosečnu dužinu tela od 265 mm, a ženke 251 mm, što je oko 5,6% veća dužina tela kod mužjaka u odnosu na ženke. Ovako dobijene vrednosti ukazuju na jasan polni dimorfizam već u prvih 12 meseci starosti. Rezultati poređenja telesne mase i dužine tela između mužjaka i ženki kalifornijske pastrmke u skladu su sa navedenim literaturnim podacima, gde je dokazano prisustvo polnog dimorfizma u rastu već u ranoj fazi proizvodnog ciklusa (Kause i sar., 2003; Manor i sar., 2015).

Polni dimorfizam kod riba dokumentovan je kod različitih vrsta. Kod nilske tilapije je utvrđeno da mužjaci imaju znatno veću telesnu masu u odnosu na ženke, pri čemu ta razlika može biti oko 40% (Ponzoni i sar., 2011; Bentesen i sar., 2012). Često se postavlja pitanje da li stopa rasta predstavlja istu genetičku osobinu kod oba pola. Dosadašnja istraživanja su pokazala da su procene heritabiliteta telesne mase slične kod mužjaka i ženki. Tako su Nguyen i sar. (2007) kod nilske tilapije, kao i Kause i sar. (2003) kod kalifornijske pastrmke dokazali da je naslednost telesne mase uporediva između polova.

Rezultati novijih istraživanja takođe potvrđuju prisustvo polnog dimorfizma kod kalifornijske pastrmke. Prema navodima Kurta i sar. (2023), mužjaci su u proseku imali 3-11% veću telesnu masu i 1-2% veću dužinu tela u poređenju sa ženkama. Slični rezultati zabeleženi su i u okviru finskog selekcijskog programa kalifornijske pastrmke, gde su mužjaci imali 2-14 veću telesnu masu u odnosu na ženke (Kause i sar., 2003). Uočene razlike između rasta kod mužjaka i ženki mogu se objasniti različitim obrascima raspodele energije između polova. Mužjaci veći deo nutritivnih resursa koriste za somatski rast, dok ženke deo dostupne energije, pored rasta, usmeravaju i na reproduktivne procese, odnosno razvoj gonada i produkciju ikre (Aksungur i sar., 2007; Gunadi i sar., 2021).

Ovi rezultati ukazuju na značaj uključivanja pola kao važnog faktora u odgajivačke programe prilikom procene priplodne vrednosti. U suprotnom može doći do pojave disproporcije u polnoj strukturi matičnog jata, odnosno povećanog učešća mužjaka u odnosu na ženke. Danas, za rano određivanje pola kod kalifornijske pastrmke sve veću primenu imaju molekularne metode, koje omogućavaju pouzdanu identifikaciju pola u ranim fazama razvoja (Yano i sar., 2013). Razumevanje polnih razlika u rastu omogućava preciznije planiranje odgajivačkih strategija i unapređenje efikasnosti proizvodnje u savremenim sistemima akvakulture.

5.3. Uticaj godine mresta, tanka i pola

U **tabeli 12** prikazani su rezultati F-testa za uticaj ispitivanih faktora na telesnu masu i dužinu tela kalifornijske pastrmke u uzrastima sa 5, 12, 24, 36 i 48 meseci. Ispitivani faktori su: godina mresta, tank (bazen) i pol.

Tabela 12. Vrednosti F-testa za ispitivane faktore

| Starost jedinki (meseci) | Osobine | Godina mresta | Tank | Pol |
|--------------------------|---------|---------------|--------|--------------------|
| 5 | TM | 362,80** | 6,40** | 7,78* |
| | D | 446,23** | 6,59** | 2,34 ^{NZ} |
| 12 | TM | 3629,00** | NP | 7,55** |
| | D | 5987,54** | NP | 3,03 ^{NZ} |
| 24 | TM | 692,23** | NP | 4,72* |
| | D | 453,54** | NP | 0,63 ^{NZ} |
| 36 | TM | 540,02** | NP | 155,76** |
| | D | 320,09** | NP | 66,18** |
| 48 | TM | 84,20** | NP | 203,07** |
| | D | 40,11** | NP | 134,15** |

Skraćenice: **-visoko statistički značajno, *-statistički značajno, ^{NZ}-nije statistički značajno, ^{NP}-nije praćeno; **TM5**: telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5**: dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12**: telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12**: dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24**: telesna masa sa 24 meseci starosti (g); **D24**: dužina tela sa 24 meseci starosti (mm); **TM36**: telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36**: dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48**: telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48**: dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Godina mresta kao posmatrani faktor imala je visoko statistički značajan uticaj kako na telesnu masu, tako i na dužinu tela u svim uzrastima (sa 5, 12, 24, 36 i 48 meseci). Činjenicu da godina mresta predstavlja ključni faktor koji utiče na rast riba tokom različitih uzrasta, potvrđuju istraživanja Brown i sar. (2024) i Tollervey i sar. (2024). Pored navedenih, brojna istraživanja ukazuju da se efekat godine mresta može povezati sa varijacijama u klimatskim promenama, sezonskim promenama temperature vode i dostupnošću hrane, što direktno utiče na metabolizam i stopu rasta riba (Jobling, 1994; Jonsson i Jonsson, 2011). Najnovija istraživanja potvrđuju značaj godine mresta i faktora spoljašnje sredine na stopu rasta kod riba. Studije ukazuju da razlike između generacija mogu biti posledica promena u uslovima gajenja, kao što su kvalitet vode, intenzitet proizvodnje, dostupnost potrebnih količina hrane, čak i kada su genetički faktori relativno ujednačeni (Roldi i sar., 2025; Aththar i sar., 2026). Varijabilnost u rastu između jedinki i generacija ukazuje na sposobnost populacije da se prilagodi promenljivim uslovima sredine, što dodatno ističe važnost interakcije između genotipa i okoline u oblikovanju proizvodnih osobina. Kod tilapije i brancina je dokazano da faktori kao što su gustina nasada, temperatura vode i metod gajenja značajno utiču na performanse rasta i fenotipsku raznolikost (Korus i sar., 2024). Rezultati ovog istraživačkog rada su u skladu sa navedenim istraživanjima, koja sugeriraju da efekat godine

mresta predstavlja složenu kombinaciju genetičkih i spoljašnjih uticaja koji deluju tokom čitavog životnog ciklusa ribe.

Tankovi (bazeni) predstavljaju zasebne jedinice u kojima su jedinke gajene do 5-og meseca starosti. Uticaj tanka je ispitivan isključivo u uzrastu sa 5 meseci, jer su ribe posle 5-og meseca gajene na ribnjaku u zajedničkom bazenu. Tank je u ovom uzrastu imao visoko statistički značajan uticaj na telesnu masu i dužinu tela. Ovakav rezultat ukazuje da su uslovi koji vladaju u pojedinim tankovima značajno oblikovali razvoj riba u ranoj fazi života. Iako su tankovi deo istog proizvodnog sistema i nalaze se u istoj prostoriji, između njih mogu postojati mikrovarijacije uslova sredine. Takođe, zajednička sredina (tank) i gajenje istih genotipova u istom tanku mogu dovesti do jače povezanosti sredine i fenotipa, što može uticati na favorizovanje određenih genotipova. Na promenu uslova sredine u tanku mogli su uticati: protok vode, koncentracija rastvorenog kiseonika, neujednačena raspodela hrane, stepen uznemiravanja jedinki i stres (Waldrop i sar., 2017; Timmerhaus i sar., 2020; Prescott i sar., 2024). U ovom uzrastu ribe su osetljive na promene uslova sredine, jer je to period kada intenzivno rastu i razvijaju se (Ellis i sar., 2002; North i sar., 2006). Čak i male razlike u dostupnosti hrane ili u kvalitetu vode mogu dovesti do značajnih razlika u prirastu. Pošto su ribe posle 5-og meseca starosti gajene u jedinstvenim uslovima, ulogu u oblikovanju rasta preuzimaju genetički faktori i pol. Ovakvi rezultati su u skladu sa teorijom “ranog programiranja rasta”, gde uslovi u ranim fazama života mogu imati dugoročne posledice na performanse jedinki, uključujući efikasnost iskorišćavanja hrane i otpornost na stres (Metcalf i Monaghan, 2001; Ali i sar., 2003). Takođe, prisustvo hijerarhije i konkurencije za hranom i prostorom u tanku može dovesti do izraženih razlika u telesnoj masi kod jedinki (Jobling, 1995).

Pol je imao statističku značajnost za osobine mase merene sa 5 meseci i za masu merenu sa 24 meseca. Visoku statističku značajnost je imao za sledeće osobine: telesna masa sa 12 meseci, zatim masa i dužina tela merena sa 36 meseci i sa 48 meseci. Za osobine dužine tela merene sa 5 meseci, 12 meseci i sa 24 meseca pol nije imao statističku značajnost. U ranom uzrastu sa 5 meseci i sa 12 meseci pol ima slabiji uticaj na telesnu masu, što je očekivano jer se polni dimorfizam još ne ispoljava u potpunosti (Yamamoto, 2004). Međutim, u uzrastu sa 36 meseci i sa 48 meseci, vrednosti F – testa naglo rastu, ukazujući da pol ima visoku značajnost na telesne razvijenosti riba (Taranger i sar., 2010; Santos i sar., 2021). Razlike između mužjaka i ženki u kasnijim uzrastima često su povezane sa hormonskim promenama, pre svega povećanom aktivnošću gonadotropnih i steroidnih hormona, koji utiču na raspodelu energije između somatskog rasta i reproduktivnih funkcija (Lubzens i sar., 2009; Schulz i sar., 2009).

5.4. Procena heritabiliteta (h^2) osobina telesne razvijenosti

U tabeli 13 su prikazane vrednosti heritabiliteta sa standardnom greškom heritabiliteta za osobine telesne mase (TM) i dužine tela (D) u uzrasnom periodu sa 5, 12, 24, 36 i 48 meseci.

Dobijene vrednosti heritabiliteta kretale su se u rasponu od niskih (0,12) do visokih (0,60), što je u skladu sa širokim opsegom vrednosti prijavljenim u literaturi za osobine rasta kod riba, čije se vrednosti kreću u rasponu od 0,10 do 0,52 (Elvingson i Johansson, 1993; Kause i sar., 2002; Quinton i sar., 2005; Kause i sar., 2007; Silverstein i sar., 2008; Hu i sar., 2013; Thodesen i sar., 2013; Leeds i sar., 2016; Palaiokostas i sar., 2021).

Tabela 13. Vrednosti heritabiliteta za posmatrane osobine

| Starost jedinki (meseci) | Osobine | Heritabilitet | Standardna greška heritabiliteta |
|--------------------------|---------|---------------|----------------------------------|
| 5 | TM | 0,41 | 0,071 |
| | D | 0,59 | 0,079 |
| 12 | TM | 0,23 | 0,069 |
| | D | 0,28 | 0,072 |
| 24 | TM | 0,59 | 0,053 |
| | D | 0,60 | 0,055 |
| 36 | TM | 0,33 | 0,057 |
| | D | 0,49 | 0,062 |
| 48 | TM | 0,14 | 0,007 |
| | D | 0,12 | 0,069 |

Skrtaćenice: **TM:** telesna masa; **D:** dužina tela.

U uzrastu od 5 meseci starosti, vrednosti heritabiliteta za telesnu masu iznosile su 0,41, dok je za dužinu tela ta vrednost bila 0,59, što ukazuje na umeren do visok nivo genetičke kontrole ovih osobina u ranoj fazi razvoja. Slične rezultate je prikazao Brink (2004), gde su se vrednosti heritabiliteta za telesnu masu i dužinu tela kalifornijske pastrmke sa 150 dana starosti kretale u rasponu od 0,40 do 0,53. Međutim, dobijene rezultate treba tumačiti pažljivo, imajući u vidu da su jedinke u tom periodu gajene u specifičnim uslovima. Do 5-og meseca starosti mlađ je gajena u odvojenim tankovima, pri čemu je svaki tank predstavljao jednu familiju. Ovakav eksperimentalni dizajn može dovesti do mešanja između aditivnih genetičkih faktora i efekata zajedničke sredine, jer jedinke unutar familije dele iste uslove sredine, što navodi u svom radu Leeds i sar. (2016), što je u ovom istraživanju uzeto u obzir prilikom modeliranja analize. Kao posledica toga, deo varijanse koji se pripisuje genetičkim faktorima može zapravo poticati od uticaja sredine, što dovodi do precenjivanja vrednosti heritabiliteta. Odvojeno gajenje riba može izazvati smanjenje genetičke dobiti (Gjerde, 2011). Na ovaj problem ukazuju Hill i Mackay (2004), koji naglašavaju da se heritabilitet procenjuje kao odnos aditivne genetičke i ukupne fenotipske varijanse, pri čemu neadekvatno razdvajanje komponenti varijanse može dovesti do pristrasnih procena. Gallardo i sar. (2010) i Haffray i sar. (2012) takođe pružaju dokaze o uticaju zajedničke okoline na procenu vrednosti heritabiliteta, ukazujući na potrebu skraćivanja perioda odvojenog gajenja familija.

Nakon prelaska na gajenje jedinki u zajedničkom bazenu (posle 5-og meseca), u uzrastu od 12 meseci starosti dolazi do smanjenja vrednosti heritabiliteta (0,23 za telesnu masu i 0,28 za dužinu tela). Ovaj pad vrednosti heritabiliteta se može objasniti eliminacijom efekta tanka i povećanim uticajem drugih faktora sredine, kao što su dostupnost hrane, socijalna interakcija i mikrovarijacije u uslovima gajenja. Slične rezultate navode Nguyen i sar. (2007), koji ističu da procene heritabiliteta mogu varirati u zavisnosti od sistema gajenja i strukture populacije.

U uzrastu sa 24 meseca starosti zabeležen je ponovni porast vrednosti heritabiliteta (0,59 za telesnu masu i 0,60 za dužinu tela), što predstavlja najviše vrednosti u ovom istraživanju. Ove vrednosti mogu ukazivati na stabilizaciju uslova sredine i jasnije ispoljavanje genetičkih razlika između jedinki nakon dužeg perioda zajedničkog gajenja. Takođe, moguće je da dolazi do smanjenja varijabilnosti faktora sredine ili selektivnog preživljavanja jedinki, što može menjati odnos komponenti ukupne varijanse. Sličan opseg vrednosti prijavili su Sae-Lim i sar. (2013), Nilsson (2016) i Kurta i sar. (2023), što potvrđuje da su dobijeni rezultati u okviru očekivanih bioloških granica.

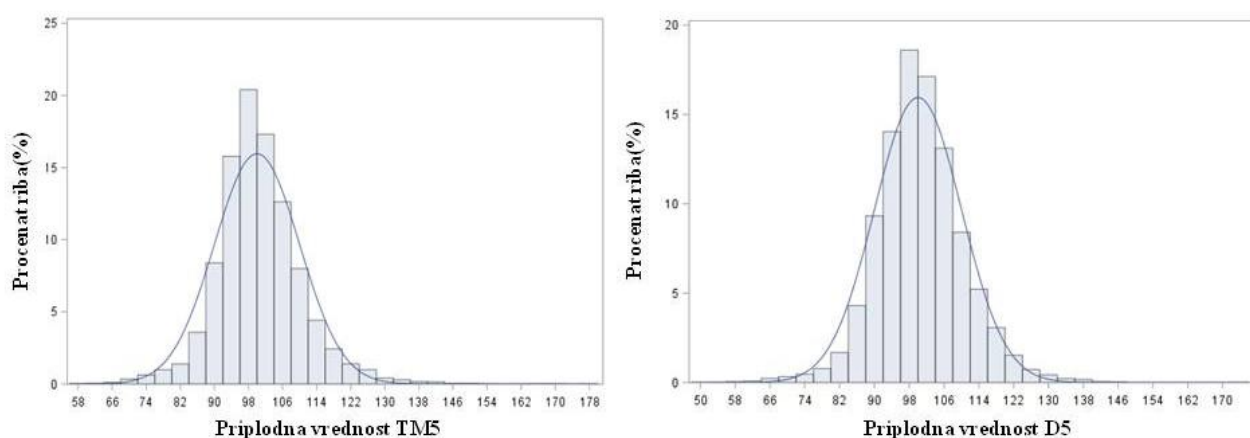
U kasnijim uzrastima (sa 36 i 48 meseci starosti) dolazi do opadanja vrednosti heritabiliteta. U uzrastu sa 36 meseci starosti vrednosti heritabiliteta iznose 0,33 za telesnu masu i 0,49 za dužinu tela, dok sa 48 meseci vrednosti opadaju na 0,14 (telesna masa) i 0,12 (dužina tela). Ovi rezultati su u skladu sa teorijskim očekivanjima, prema kojima se sa starošću povećava uticaj faktora sredine, što dovodi do smanjenja relativnog doprinosa genetičke varijanse u ukupnoj fenotipskoj varijansi (Serbezov i sar., 2010; Kurta i sar., 2023). Ove činjenice potvrđuju i Gjedrem i Baranski (2009), koji navode da efikasnost selekcije opada kada su vrednosti heritabiliteta ispod srednjih vrednosti.

Posmatrajući vrednosti heritabiliteta u celini, može se zaključiti da je genetički potencijal za unapređenje osobina rasta najizraženiji u uzrastima sa 5 i 24 meseca starosti, dok se u kasnijim uzrasnim periodima smanjuje. Sa aspekta selekcije, dobijeni rezultati ukazuju da bi optimalno vreme za donošenje odgajivačkih odluka bilo u uzrastima kada je vrednost heritabiliteta visoka, kako bi se omogućio efikasan genetički napredak.

Vrednosti heritabiliteta posmatrane populacije su umerene do visoko nasledne (osim u uzrastu sa 48 meseci), što ukazuje na čvrstu povezanost između fenotipa i genotipa jedinki, a što omogućava da se dalji odabir može vršiti na osnovu fenotipa (Sae-Lim i sar., 2013). Visoke vrednosti heritabiliteta ukazuju da aditivna genetička varijansa značajno doprinosi ukupnoj fenotipskoj varijansi u populaciji (Wang i sar., 2002; Serbezov i sar., 2010). Umerene do visoke vrednosti heritabiliteta ukazuju da su genetički faktori, a i faktori okoline značajno uticali na telesnu masu i dužinu tela. Osobine sa visokom naslednošću zbog visokog genetičkog uticaja imaju značajan uticaj na efekat selekcije (Gunadi i sar., 2021). Vrednosti heritabiliteta za telesnu masu i za dužinu tela u istom uzrastu su približno jednake, što je očekivano, s obzirom da su masa i dužina tela u visokoj pozitivnoj korelaciji, a što su ustanovili Martiniuk i sar. (2003) i Hu i sar. (2013). Vrednosti naslednosti za telesnu masu nilske tilapije kreću se od 0,06 do 0,68 (Bolivar i sar., 2002; Bentesen i sar., 2012). Sang i sar. (2012) su prijavili umerene vrednosti heritabiliteta za telesnu masu (0,21-0,34) kod prugastog soma (*Pangasianodon hypophthalmus*).

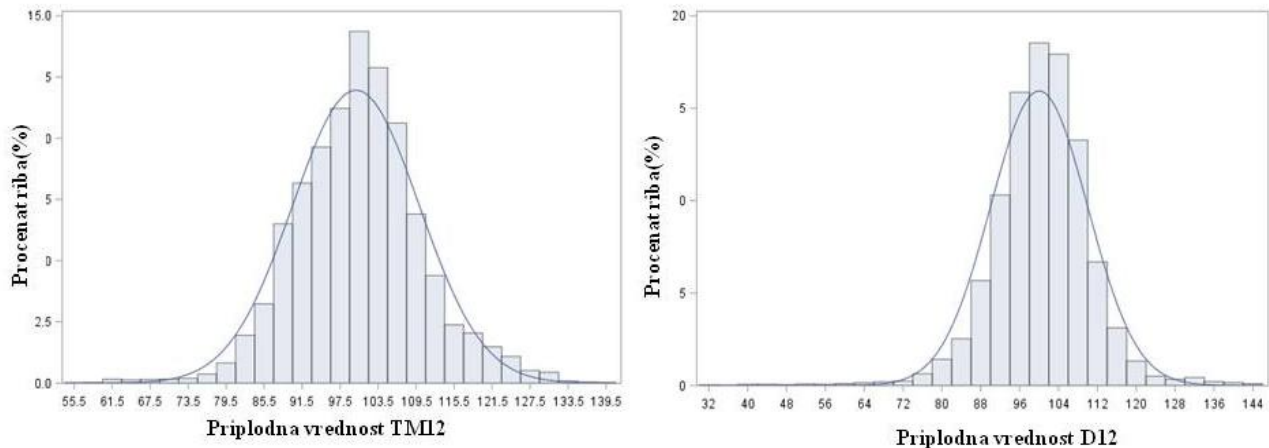
5.5. Procena priplodnih vrednosti (EBV) osobina telesne razvijenosti

Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti za osobine telesne mase i dužine tela kod kalifornijske pastrmke u različitim uzrastima prikazana je na grafikonima 3-7. Standardizacija priplodnih vrednosti izvršena je na osnovu prosečne vrednosti i standardne devijacije celokupno analizirane populacije. Normalnost raspodele testirana je primenom Kolmogorov-Smirnov-og testa.



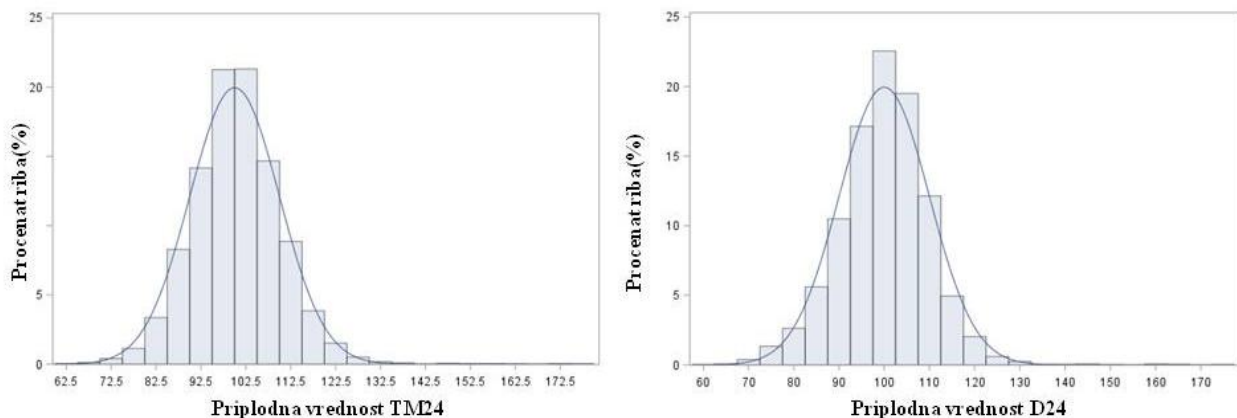
Grafikon 2. Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti kalifornijske pastrmke za osobine telesne mase (TM) i dužine tela (D) sa 5 meseci starosti

U uzrastu sa 5 meseci starosti, minimalna standardizovana priplodna vrednost za telesnu masu iznosila je 56, dok je maksimalna vrednost iznosila 179. Za dužinu tela minimalna vrednost iznosila je 51, a maksimalna vrednost je bila 174. Distribucije obe osobine se nisu statistički značajno razlikovale od normalne distribucije, što potvrđuju rezultati Kolmogorov-Smirnov-og testa ($P > 0,05$). Veća varijabilnost kod telesne mase i dužine tela može ukazivati na izraženiji uticaj spoljašnjih faktora, kao što su nejednaka raspodela hrane i gustina nasada, koji imaju značajan efekat u ranim fazama rasta.



Grafikon 3. Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti kalifornijske pastrmke za osobine telesne mase (TM) i dužine tela (D) sa 12 meseci starosti

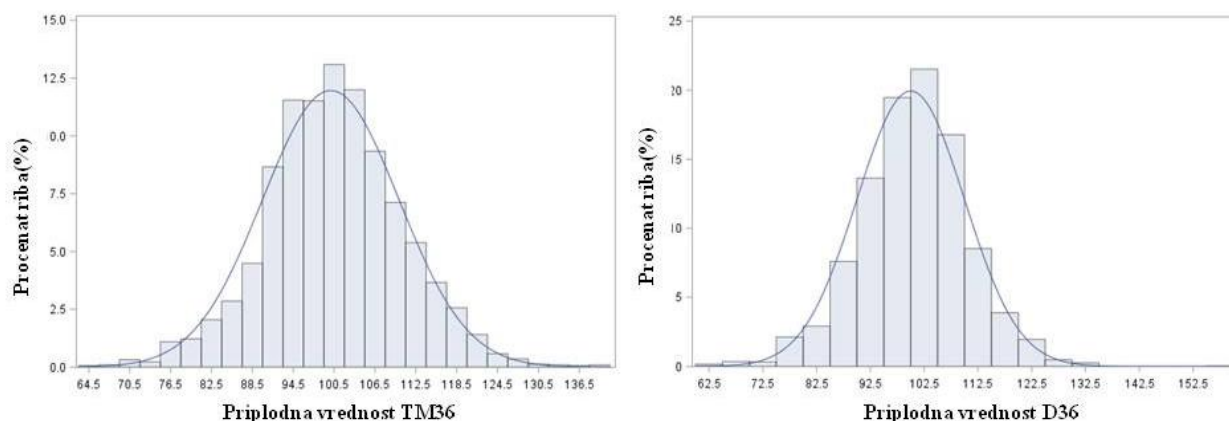
Analizirajući uzrast od 12 meseci starosti (**Grafikon 3**), minimalne vrednosti priplodnih vrednosti iznosile su 54, a maksimalne 140 za telesnu masu. Za dužinu tela minimalne vrednosti su 32, do su maksimalne 144. Distribucija priplodnih vrednosti zadržava približno oblik normalne krive, ali sa povećanom disperzijom vrednosti u odnosu na uzrast sa 5 meseci starosti. Ovakav trend ukazuje na veće razlike u rastu kod riba tokom perioda intenzivnog rasta, kada dolazi do izraženijeg ispoljavanja genetičkih razlika (Gjedrem i Baranski, 2009).



Grafikon 4. Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti kalifornijske pastrmke za osobine telesne mase (TM) i dužine tela (D) sa 24 meseci starosti

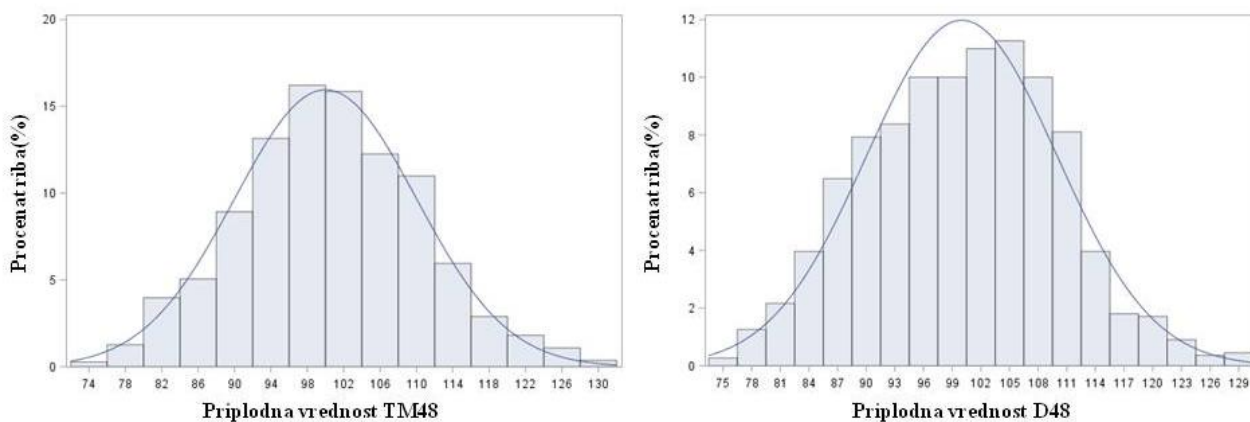
Kod jedinki starosti 24 meseca minimalne vrednosti iznosile su 63, dok su maksimalne iznosile 179 za telesnu masu. Za dužinu tela minimalne vrednosti su iznosile 59, a maksimalne 175. Visoke vrednosti standardne devijacije ukazuju na veliku varijabilnost u populaciji. Do ovakvih rezultata može dovesti heterogenost genetičke osnove, kao i prisustvo ekstremnih vrednosti telesne mase i dužine tela. Kause i sar. (2005) navode slične nalaze, gde ističu da kod osobina rasta u

akvakulturi može doći do naglog povećanja varijabilnosti usled interakcije genotipa i spoljašnje sredine.



Grafikon 5. Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti kalifornijske pastrmke za osobine telesne mase (TM) i dužine tela (D) sa 36 meseci starosti

U uzrastu sa 36 meseci starosti minimalna priplodna vrednost posmatrane populacije za telesnu masu iznosila je 65, dok je maksimalna vrednost iznosila 140. Za dužinu tela minimalna vrednost iznosila 62, a maksimalna je bila 157. U ovom uzrastu distribuciju karakteriše širok raspon vrednosti i izražena varijabilnost jedinki. Dobijeni rezultati ukazuju na kumulativni efekat genetičkih faktora, što je u skladu sa osnovnim zakonitostima kvantitativne genetike (Falconer i Mackay, 1996; Lynch i Walsh, 1998).



Grafikon 6. Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti kalifornijske pastrmke za osobine telesne mase (TM) i dužine tela (D) sa 48 meseci starosti

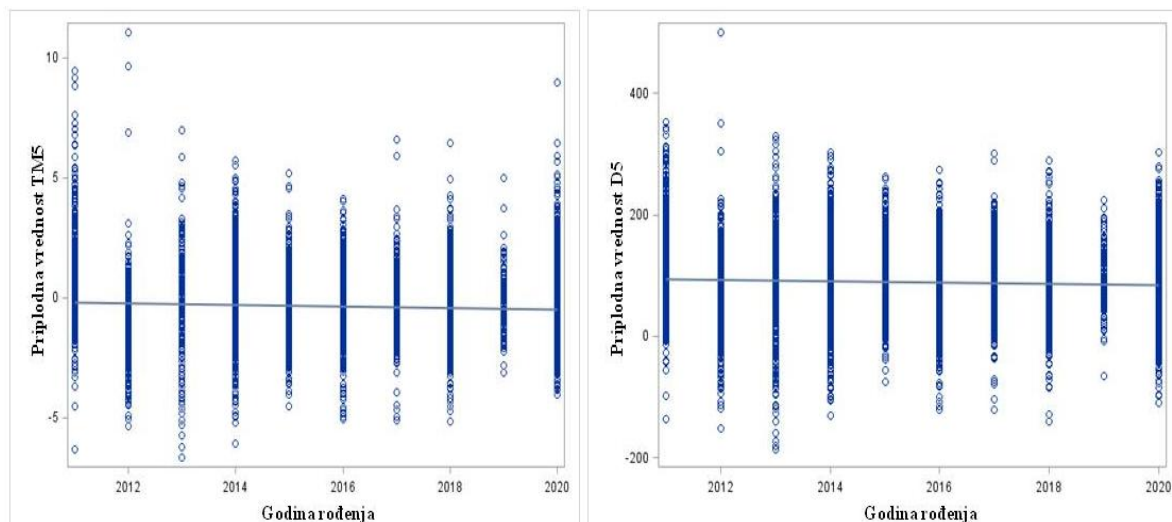
Standardizovane priplodne vrednosti utvrđene su i u uzrastu sa 48 meseci starosti, gde je minimalna vrednost za telesnu masu bila 74, a maksimalna 130. Za dužinu tela minimalna vrednost je bila 74, a maksimalna 129.

Distribucija priplodnih vrednosti zadržava oblik normalne krive kod svih osobina u svim uzrastima, što ukazuje na ravnomernu raspodelu varijabilnosti unutar populacije i odsustvo izraženih odstupanja od srednjih vrednosti. Najveći broj jedinki u svim starosnim uzrastima je bio grupisan oko centralnih vrednosti distribucije, koje su se nalazile u neposrednoj blizini aritmetičke sredine, što dodatno potvrđuje simetričnost raspodele i adekvatnost primenjenog modela za procenu priplodne vrednosti. U primenjene svrhe, rezultati ukazuju da su starije jedinke pogodnije za

selekciju, jer omogućavaju jasnije izdvajanje genetički superiornih jedinki (Yáñez i sar., 2015; Houston i sar., 2020).

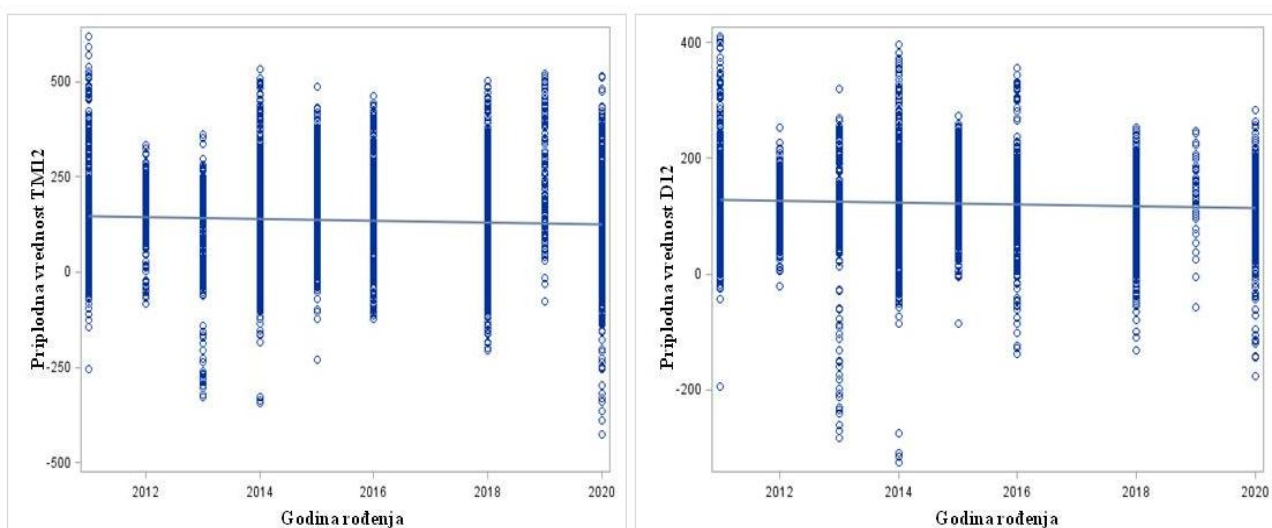
5.6. Genetički trend osobina telesne razvijenosti

Za procenu genetičkog trenda korišćena je regresijska analiza, gde je godina rođenja riba definisana kao nezavisna promenljiva, a standardizovane priplodne vrednosti riba kao zavisna promenljiva. Rezultati genetičkog trenda su prikazani na **grafikonu 7-11**. Dobijeni koeficijenti regresije ukazuju na to da genetički trend nije bio ujednačen, već je varirao u zavisnosti od uzrasta i posmatrane osobine.



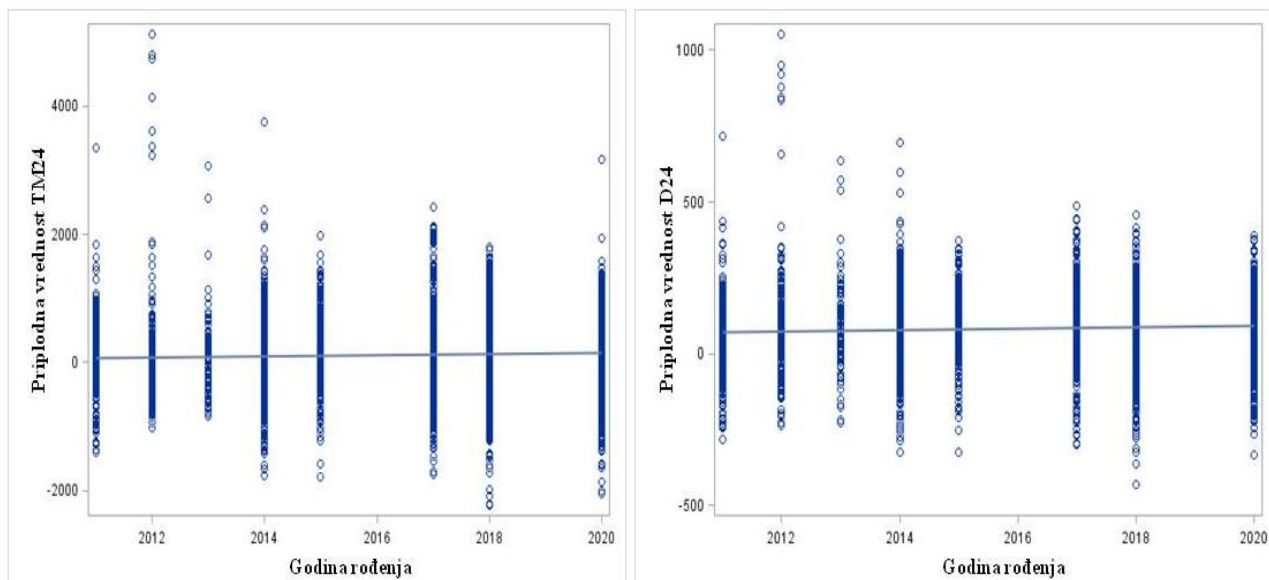
Grafikon 7. Genetički trend kalifornijske pastrmke za telesnu masu (TM) i dužinu tela (D) sa 5 meseci starosti

U najranijim fazama uzrasta zabeleženi su negativni ili blago negativni trendovi (**Grafikon 7 i Grafikon 8**). Koeficijent regresije za telesnu masu sa 5 meseci starosti iznosio je $b_{TM5} = -0,03$, dok su za dužinu tela sa 5 meseci i sa 12 meseci starosti utvrđene izraženije negativne vrednosti ($b_{T5} = -1,10$; $b_{T12} = -1,59$). Negativan genetički trend registrovan je i za telesnu masu sa 12 meseci starosti ($b_{TM12} = -2,30$), što ukazuje na odustvo genetičkog napretka u ranim fazama razvoja.



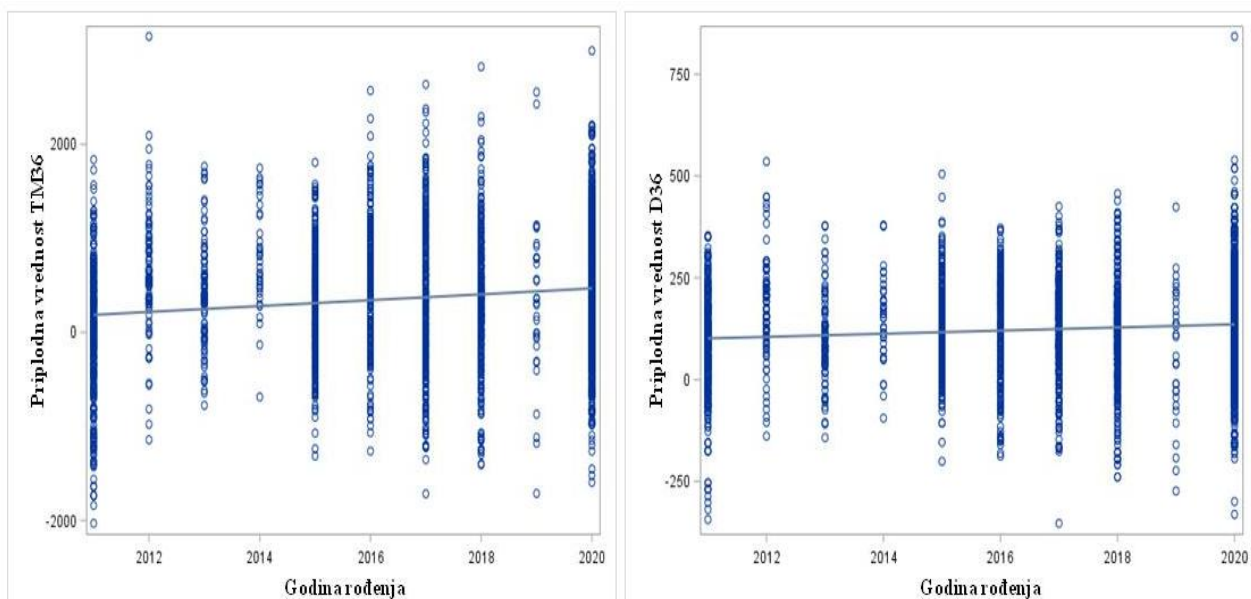
Grafikon 8. Genetički trend kalifornijske pastrmke za telesnu masu (TM) i dužinu tela (D) sa 12 meseci starosti

Pouzdanost procene priplodnih vrednosti u uzrastu sa 5 i 12 meseci starosti je bila relativno visoka ($TM_5=0,72$; $D_5=0,81$; $TM_{12}=0,64$; $D_{12}=0,64$) (Prilog: **Tabela 12**). Ove vrednosti ukazuju da uočeni negativni trend nije posledica niske tačnosti procene, već odražava stvarni selekcijski odgovor u populaciji. Henderson (1975) i Mrode (2006) navode da pouzdanost procene priplodnih vrednosti predstavlja ključni parametar za interpretaciju genetičkih trendova, jer omogućava razdvajanje stvarnog genetičkog napretka od procene opterećene greškom.



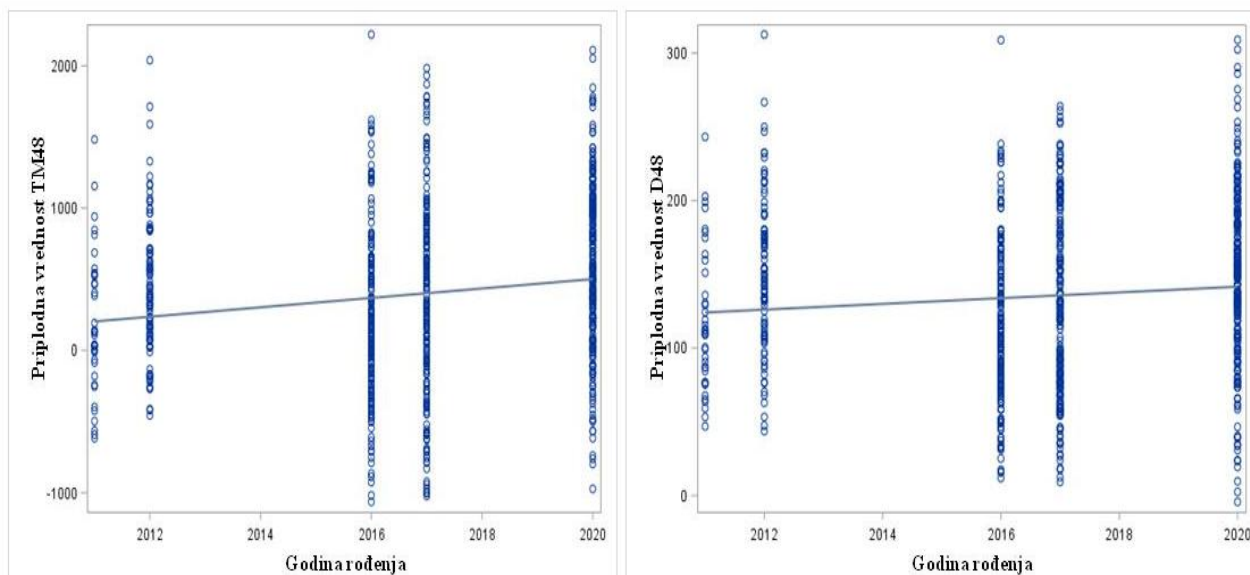
Grafikon 9. Genetički trend kalifornijske pastrmke za telesnu masu (TM) i dužinu tela (D) sa 24 meseci starosti

U kasnijim uzrastima dolazi do promene genetičkog trenda (**Grafikon 9 i Grafikon 10**), koji postaje pozitivan i jasno izražen. Za telesnu masu sa 24 meseca starosti koeficijent regresije iznosio je $b_{TM24}=8,66$, dok je za dužinu tela iznosio $b_{D24}=2,26$. U uzrastu od 36 meseci starosti vrednosti su dodatno porasle ($b_{TM36}=31,49$; $b_{D36}=3,38$), dok je najveći genetički napredak zabeležen u uzrastu sa 48 meseci starosti (**Grafikon 11**) za telesnu masu ($b_{TM48}=33,06$; $b_{D48}=1,94$).



Grafikon 10. Genetički trend kalifornijske pastrmke za telesnu masu (TM) i dužinu tela (D) sa 36 meseci starosti

Pouzdanost priplodnih vrednosti u uzrastu sa 24 i 36 meseci starosti je bila umereno do visoka (TM24=0,82; D24=0,83; TM36=0,72; D36=0,77), što potvrđuje stabilnost procena i dodatno osnažuje interpretaciju procenjenog pozitivnog genetičkog trenda (Prilog: **Tabela 12**). U uzrastu sa 48 meseci starosti pouzdanost je bila nešto niža (TM48=0,54; D48=0,52) (Prilog: **Tabela 12**). Manje vrednosti pouzdanosti u najstarijem uzrastu se mogu objasniti manjem brojem jedinki ili većim uticajem spoljašnjih faktora. Slične zaključke navode Falconer i Mackay (1996) i Mrode (2006), gde se ističe da pouzdanost može varirati sa uzrastom i strukturom podataka, ali ne mora nužno umanjiti značaj jasnog trenda.



Grafikon 11. Genetički trend kalifornijske pastrmke za telesnu masu (TM) i dužinu tela (D) sa 48 meseci starosti

Dobijeni rezultati ukazuju da genetički napredak nije bio linearan kroz rast jedinki. U ranim fazama razvoja selekcijski odgovor je slab ili negativan, dok je u kasnijim uzrastima izražen i pozitivan. Ovakav rezultat može biti posledica većeg uticaja spoljašnjih faktora u ranom uzrastu, odvojenog gajenja riba, kao i činjenice da selekcija u praksi najčešće nije usmerena na početne faze rasta, već na osobine koje imaju veći proizvodni značaj (Gjerde, 2011). Sa porastom uzrasta, uticaj faktora spoljašne sredine postepeno slabi, dok genetičke razlike dolaze do izražaja, što utiče na stabilniji selekcijski odgovor. Dobijeni rezultati su u skladu sa nalazima Gjerde (1986), Gjedrem i Thodesen (2005), Gjedrem (2010), Hung (2013) i Leeds (2016).

Na osnovu rezultata genetičkog trenda, može se zaključiti da je u populaciji ostvaren značajan genetički napredak, posebno za telesnu masu u kasnijim uzrastima. Janssen i sar. (2017) navodi da genetički napredak može biti rezultat familijске selekcije koja unapređuje više osobina. Genetički napredak posmatrane populacije kalifornijske pastrmke bio je u skladu sa umereno do visokom naslednošću (Kause i sar., 2002; Sae-Lim i sar., 2013).

Dobijeni genetički trendovi ne mogu se posmatrati nezavisno od nivoa inbridinga u populaciji. Iako se ostvaruje značajan genetički napredak, istovremeno dolazi do akumulacije srodstva u populaciji. Intenzivna selekcija može povećati genetički dobitak, ali dugoročno može smanjiti genetičku varijabilnost populacije (Meuwissen, 1997). Upravo zbog toga, optimalan balans između selekcijskog intenziteta i kontrole inbridinga predstavlja ključni izazov u savremenim odgajivačkim programima.

5.7. Koeficijent inbridinga

U ovom istraživanju prosečan koeficijent inbridinga u populaciji kalifornijske pastrmke iznosio je 8,45%, dok su maksimalne vrednosti dostizale 29,68%. Ovakav nivo inbridinga može imati genetičke i proizvodne posledice, naročito kroz potencijalnu pojavu inbriding depresije, koja se manifestuje smanjenjem vitalnosti, fertiliteta i opšte adaptivne sposobnosti jedinki.

U poređenju sa literaturnim podacima, dobijene vrednosti su više od onih koje navode Bentsen i sar. (2016) za nilsku tilapiju, gde je prosečan inbriding u petoj generaciji iznosio 7,13%, uz stopu inbridinga od 1,43% po generaciji. Bolivar i sar. (2002) navode ukupni inbriding od 6,3% nakon 12 generacija. Preporučene granice inbridinga u odgajivačkim programima kreću se između 0,5 i 1% po generaciji (Bijma i Woolliams, 2000), što ukazuje da vrednosti utvrđene u ovoj doktorskoj disertaciji prelaze optimalne okvire i mogu dugoročno i negativno uticati na genetički napredak.

Kod kalifornijske pastrmke, Kause i sar (2005) navode znatno nižu stopu inbridinga (0,7% po generaciji), što se dovodi u vezu sa efikasnim kontrolisanjem parenja i većom efektivnom veličinom populacije. Nasuprot tome, Pante i sar. (2001) navode znatno više vrednosti (prosek 11,3%; maksimum 9,4-33,3%), koje su uporedive sa maksimalnim vrednostima dobijenim u ovoj doktorskoj disertaciji, dok Martinez i sar. (2006) navode umerene vrednosti inbridinga (2-5%).

Dobijeni prosečan nivo inbridinga nalazi se u gornjem opsegu vrednosti tipičnih za riblje populacije i približava se vrednostima koje se smatraju povišenim i kod kopnenih domaćih životinja (Gjedrem i Robinson, 2014). Iako prosečne vrednosti ne odstupaju drastično od literaturnih podataka, prisustvo izrazito visokih maksimalnih vrednosti ukazuje na neujednačenu raspodelu srodstva u populaciji i potencijalni rizik od izraženijih negativnih efekata kod pojedinih jedinki (Keller i Waller, 2002).

Obrađeni podaci obuhvataju četiri generacije kalifornijske pastrmke, a u okviru analize je kao početna pretpostavka uzeto da je nivo inbridinga u osnivačkoj generaciji jednak nuli, s obzirom da su jedinke prikupljene iz različitih ribnjaka nepoznatog porekla. Međutim, usled nepoznate genetičke strukture osnivačke populacije, nije moguće isključiti postojanje inicijalne genetičke srodnosti, što može uticati na ukupnu procenu akumulacije inbridinga kroz generacije. U ovom odgajivačkom programu primenjivana je mera sa kojom se izbegavalo parenje jedinki u srodstvu do šest generacija unazad. Dobijene vrednosti inbridinga se mogu objasniti smanjenom efektivnom veličinom populacije, neravnomernim reproduktivnim doprinosom pojedinih jedinki, kao i intenzivnim selekcijskim pritiskom koji favorizuje određene genotipove. Svi navedeni razlozi indirektno povećavaju nivo srodnosti u populaciji.

U cilju smanjenja nivoa inbridinga, neophodno je unaprediti strategiju upravljanja populacijom kalifornijske pastrmke. Povećanje efektivne veličine populacije, ravnomerna zastupljenost roditelja u šemi ukrštanja, kao i uvođenje novog genetičkog materijala (osvežavanje krvi) predstavljaju ključne mere za kontrolu inbridinga. Uključivanje u reprodukciju jedinki starijih od četiri godine može doprineti usporavanju rasta inbridinga i stabilizaciji genetičke strukture populacije (Kause i sar., 2005).

5.8. Genetičke i fenotipske korelacije osobina telesne razvijenosti

Usled kumulativnog delovanja faktora sredine tokom životnog ciklusa jedinki, vrednosti heritabiliteta opadaju, čime se relativni doprinos genetičkih faktora smanjuje. Ova pojava direktno utiče na intenzitet i stabilnost korelacija između osobina rasta u različitim fazama razvoja (Serbezov

i sar., 2010). Vrednosti genetičkih i fenotipskih korelacija za telesnu masu i dužinu tela date su u **tabeli 14** i **tabeli 15**.

Tabela 14. Vrednosti genetičkih korelacija za telesnu masu i dužinu tela

| Osobine | TM5 | D5 | TM12 | D12 | TM24 | D24 | TM36 | D36 | TM48 | D48 |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TM5 | – | 0,8742 | 0,2164 | 0,3247 | 0,2949 | 0,5475 | 0,3503 | 0,4371 | 0,2781 | 0,4591 |
| D5 | | – | 0,2247 | 0,3241 | 0,3625 | 0,5137 | 0,1808 | 0,4161 | 0,3161 | 0,4183 |
| TM12 | | | – | 0,9843 | 0,5156 | 0,1342 | 0,4263 | 0,1321 | 0,3781 | 0,2264 |
| D12 | | | | – | 0,2572 | 0,1975 | 0,3801 | 0,1137 | 0,4372 | 0,4629 |
| TM24 | | | | | – | 0,9561 | 0,673 | 0,4162 | 0,3875 | 0,2837 |
| D24 | | | | | | – | 0,3791 | 0,684 | 0,4122 | 0,3147 |
| TM36 | | | | | | | – | 0,9403 | 0,6213 | 0,5571 |
| D36 | | | | | | | | – | 0,3246 | 0,5891 |
| TM48 | | | | | | | | | – | 0,9142 |

Skraćenice: TM: telesna masa; DT: dužina tela.

Rezultati prikazani u **tabeli 14** ukazuju da su genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela pozitivne i srednje do visoke jačine. Najviše vrednosti zabeležene su između merenja iste osobine u uzastopnim vremenskim intervalima. Vrednosti genetičkih korelacija su se kretale od 0,87 do 0,98. Ova činjenica potvrđuje stabilnost genetičke kontrole rasta tokom rasta riba.

Visoke genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela potvrđuju već dokazano postojanje pleiotropnih efekata gena, koji zajedno utiču na više osobina rasta. Kao posledica toga, selekcija na jednu osobinu može dovesti do indirektnog genetičkog napretka kod druge osobine, što predstavlja važnu činjenicu u programima oplemenjivanja (Hu i sar., 2013; Sae-Lim i sar., 2015).

Dobijeni rezultati su u skladu sa navodima Brink (2004), koji ističe visoke genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela. Te vrednosti su se kretale od 0,74 do 0,82. Sae-Lim i sar. (2013) su prikazali genetičke korelacije čija je vrednost bila 0,35, dok Nilsson i sar. (2016) beleže vrednosti od oko 0,47. Su i sar. (2002) su utvrdili raspon genetičkih korelacija od 0,24 do 0,56 u zavisnosti od uzrasta riba. Takođe, Elvingson i Johansson (1993), Gjedrem (1997), kao i Kause i sar. (2002, 2003), potvrđuju postojanje pozitivnih genetičkih korelacija između osobina rasta i kondicionog faktora.

Niže vrednosti genetičkih korelacija između osobina merenih u različitim uzrastima ukazuju na mogućnost promene rangiranja jedinki tokom života, što ima značajne posledice za selekciju. Ovi rezultati u skladu sa rezultatima Kurta i sar. (2023), koji ističu značajan uticaj starosti na jačinu korelacija.

Fenotipske korelacije između telesne mase (TM) i dužine tela (DT) u različitim uzrastima prikazane su u **tabeli 15**. Dobijene korelacije daju sliku o međuzavisnosti posmatranih osobina kroz različite uzraste i predstavljaju osnovu za procenu njihove povezanosti na fenotipskom nivou.

Tabela 15. Vrednosti fenotipskih korelacija za telesnu masu i dužinu tela

| Osobine | TM5 | D5 | TM12 | D12 | TM24 | D24 | TM36 | D36 | TM48 | D48 |
|---------|-----|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|
| TM5 | – | 0,8056 | -0,1154 | 0,0269 | 0,0369 | 0,4019 | 0,0836 | 0,2804 | 0,0751 | 0,1814 |
| D5 | | – | -0,1103 | 0,0269 | 0,0627 | 0,4759 | -0,0129 | 0,2327 | 0,0301 | 0,2219 |
| TM12 | | | – | 0,9619 | 0,3071 | -0,2429 | 0,2673 | -0,1676 | 0,1260 | 0,0321 |
| D12 | | | | – | 0,1515 | 0,0034 | 0,1878 | -0,2008 | 0,2108 | 0,2902 |
| TM24 | | | | | – | 0,8931 | 0,4589 | 0,2108 | 0,2482 | 0,1276 |
| D24 | | | | | | – | 0,2302 | 0,5080 | 0,2482 | 0,1276 |
| TM36 | | | | | | | – | 0,8704 | 0,4730 | 0,3737 |
| D36 | | | | | | | | – | 0,1149 | 0,4503 |
| TM48 | | | | | | | | | – | 0,8218 |

Skraćenice: TM: telesna masa; D: dužina tela.

Vrednosti fenotipskih korelacija prikazane u **tabeli 15** imaju isti smer kao i genetičke korelacije, ali su uglavnom nižih vrednosti u odnosu na genetičke korelacije. Dobijene vrednosti fenotipskih korelacija su bile u rasponu od 0,80 do 0,96. Pozitivne fenotipske korelacije između telesne mase i dužine tela predstavljaju očekivane rezultate kod riba, što potvrđuje Rameez i sar. (2020). Niže vrednosti fenotipskih korelacija u odnosu na genetičke korelacije, ukazuje da spoljašnji faktori, kao što su ishrana, gustina naseljenosti i uslovi gajenja, mogu značajno uticati na fenotipsku ekspresiju genotipa.

U skladu sa rezultatima ovog istraživanja, fenotipske korelacije imaju tendenciju opadanja sa povećanjem vremenskog intervala između merenja, što se može objasniti akumulacijom uticaja sredine tokom vremena (Su i sar., 2002; Rutten i sar., 2005).

Visoke genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela su specifične i za ostale vrste riba, kao što su šaran, tilapija i brancin gde vrednosti obično prelaze preko 0,80 (Rutten i sar., 2005; Wang, 2009; Phuc i sar., 2025). Stabilnost korelacija može zavisiti od uslova gajenja, pa tako intenzivni sistemi gajenja često dovode do jače povezanosti između osobina rasta, dok ekstenzivni uslovi povećavaju varijabilnost usled izraženije interakcije genotipa i spoljašnje sredine (Gjedrem i Baranski, 2009; Gallardo-Hidalgo i sar., 2020).

Posmatrajući u celini, dobijeni rezultati potvrđuju činjenicu da su korelacije između osobina rasta rezultat složene interakcije genetičkih faktora i faktora okoline. Njihovo pravilno razumevanje ima ključni značaj za unapređenje selekcijskih programa.

6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog istraživanja analiziran je selekcijski program kalifornijske pastrmke u Republici Srbiji zasnovan na familijskoj selekciji, sa ciljem unapređenja proizvodnih osobina kroz četiri generacije gajenja. Sprovedeni program obuhvata praćenje pedigrea, kontrolisano formiranje roditeljskih parova i procenu fenotipskih osobina značajnih za proizvodnju, pri čemu su analizirani parametri rasta i selekcijskog napretka.

Dobijeni rezultati jasno ukazuju da je sprovedena selekcija značajno unapredila rast jedinki kod osobina od 24-og meseca starosti pa nadalje, uz istovremeno smanjenje varijabilnosti, čime je povećana ukupna proizvodnja i ekonomska opravdanost. Uočene razlike u performansama između generacija potvrđuju uspešan prenos genetičkog napretka sa roditelja na potomstvo, kao direktan rezultat primenjenih odgajivačkih mera.

Srednje do visoke vrednosti heritabiliteta ukazuju na značajan udeo genetičkih faktora u fenotipskoj varijabilnosti osobina, što omogućava efikasno unapređenje kroz dalji selekcijski rad i maksimalno iskorišćenje genetičkog potencijala populacije.

Na osnovu sprovedenih analiza iz raspoložive baze podataka populacije kalifornijske pastrmke i dobijenih rezultata, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Utvrđena je izražena fenotipska varijabilnost osobina telesne mase i dužine, što ukazuje na mogućnost daljeg unapređenja posmatrane populacije.
- Umerena varijabilnost kod osobina telesne mase, posmatrana preko koeficijenta varijacije, ukazuje na značajnu heterogenost populacije.
- Najintenzivniji prirast jedinki zabeležen je u ranim fazama razvoja, ukazujući na značaj optimizacije uslova gajenja u tom uzrastu.
- Primena strogih selekcijskih kriterijuma rezultirala je značajnim smanjenjem broja analiziranih jedinki, ali i unapređenjem kvaliteta odabranih familija.
- Najveći porast telesne mase ostvaren je u F3 i F4 generaciji u odnosu na F1, dok su najveće vrednosti dužine tela, u zavisnosti od uzrasta, zabeležene u F2, F3 i F4 generaciji.
- Familije potomaka ostvaruju bolje proizvodne rezultate u poređenju sa familijama roditelja.
- Utvrđene su razlike u stopi rasta jedinki različitih polova, pri čemu su mužjaci ostvarili veće vrednosti telesne mase i dužine tela u odnosu na ženke.
- Godina mresta i tank kao ispitivani faktori imali su visoko statističku značajnost za sve osobine, dok efekat pola nije bio statistički značajan u svim uzrastima.
- Procenjene vrednosti heritabiliteta populacije za posmatrane osobine su umerene do visoke (osim za osobine sa 48 meseci starosti). Vrednosti su se kretale od 0,12 do 0,60, što daje mogućnost efikasnog selekcijskog unapređenja osobina kalifornijske pastrmke.

- Distribucija standardizovanih priplodnih vrednosti za osobine telesne mase i dužine tela nisu se statistički značajno razlikovale od normale distribucije. Najveći broj jedinki u svim starosnim uzrastima je bio grupisan oko centralnih vrednosti distribucije priplodnih vrednosti, koje su se nalazile u neposrednoj blizini aritmetičke sredine.
- Genetički trend nije bio linearan kroz rast jedinki. Pouzdanost priplodnih vrednosti je bila umerena do visoka.
- Prosečan koeficijent inbridinga iznosio je 8,45%, dok su maksimalne vrednosti dostizale 29,68%, ukazujući na potrebu kontinuiranog praćenja i kontrole parenja u srodstvu u cilju očuvanja genetičke varijabilnosti.
- Fenotipske i genetičke korelacije između telesne mase i dužine tela su u većini slučajeva bile pozitivne, što ukazuje na međusobnu povezanost ovih osobina i mogućnost njihovog istovremenog unapređenja kroz selekcijski rad.

Dobijeni rezultati imaju značajnu praktičnu primenu u savremenoj akvakulturi, jer omogućavaju optimizaciju odgajivačkih strategija u cilju povećanja prirasta, poboljšanja konverzije hrane i skraćivanja proizvodnog ciklusa. Takođe, predstavljaju osnovu za definisanje održivih programa oplemenjivanja koji istovremeno obezbeđuju genetički napredak i kontrolu inbridinga u komercijalnoj proizvodnji.

Na osnovu svega navedenog, može se zaključiti da sprovedeni odgajivački program daje značajne, stabilne i dugoročne rezultate, te predstavlja pouzdanu naučnu osnovu za dalji razvoj i unapređenje proizvodnje kalifornijske pastrmke u Republici Srbiji. Dalja istraživanja treba usmeriti ka integraciji genomske selekcijske pristupa.

7. LITERATURA

1. Aksungur, N., Aksungur, M., Akbulut, B., & Kutlu, İ. (2007). Effects of stocking density on growth performance, survival and food conversion ratio of turbot (*Psetta maxima*) in the net cages on the southeastern coast of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 7(2), 147–152. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/141923>
2. Alderson, R., 2001. Potential impact of genetic change on harvest and eating quality of Atlantic salmon. In: Kestin, S.C., Warriss, P.D. (Eds.), *Farmed fish quality*. Fishing News Books, Oxford OX2 0EL, UK, pp. 115–118.
3. Ali, M., Nicieza, A., & Wootton, R. J. (2003). Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*, 4(2), 147–190. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00120.x>
4. Aththar, M. H. F., Mengistu, S. B., Benzie, J. A., Komen, H., & Bastiaansen, J. W. (2026). Log-transformed variance from individual growth curves as a potential indicator of resilience in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Scientific Reports*, 16(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91353-w>
5. Aulstad, D., Gjedrem, T., & Skjervold, H. (1972). Genetic and Environmental Sources of Variation in Length and Weight of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 29(3), 237–241. <https://doi.org/10.1139/f72-042>
6. Aussanasuwannakul, A., Kenney, P. B., Weber, G. M., Yao, J., Slider, S. D., Manor, M. L., & Salem, M. (2011). Effect of sexual maturation on growth, fillet composition, and texture of female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on a high nutritional plane. *Aquaculture*, 317(1–4), 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.04.015>
7. AquaMaps. (2019). AquaMaps: Predicted range maps for aquatic species (Version 10/2019). Retrieved from <https://www.aquamaps.org>
8. Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>
9. Barson, N. J., Aykanat, T., Hindar, K., Baranski, M., Bolstad, G. H., Fiske, P., Jacq, C., Jensen, A. J., Johnston, S. E., Karlsson, S., Kent, M., Moen, T., Niemelä, E., Nome, T., Næsje, T. F., Orell, P., Romakkaniemi, A., Sægrov, H., Urdal, K., . . . Primmer, C. R. (2015). Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature*, 528(7582), 405–408. <https://doi.org/10.1038/nature16062>
10. Behnke R. J. (2002). *Trout and salmon of North America*. New York, Free Press: Book review. 359 str.
11. Bentsen, H. B., & Gjerde, B. (1994). Design of fish breeding programs. *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 353–359.
12. Bentsen, H. B., Gjerde, B., Eknath, A. E., De Vera, M. S. P., Velasco, R. R., Danting, J. C., Dionisio, E. E., Longalong, F. M., Reyes, R. A., Abella, T. A., Tayamen, M. M., & Ponzoni, R. W. (2016). Genetic improvement of farmed tilapias: Response to five generations of selection for

- increased body weight at harvest in *Oreochromis niloticus* and the further impact of the project. *Aquaculture*, 468, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.018>
13. Bentsen, H. B., Gjerde, B., Eknath, A. E., De Vera, M. S. P., Velasco, R. R., Danting, J. C., Dionisio, E. E., Longalong, F. M., Reyes, R. A., Abella, T. A., Tayamen, M. M., & Ponzoni, R. W. (2016). Genetic improvement of farmed tilapias: Response to five generations of selection for increased body weight at harvest in *Oreochromis niloticus* and the further impact of the project. *Aquaculture*, 468, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.018>
14. Bentsen, H. B., Gjerde, B., Nguyen, N. H., Rye, M., Ponzoni, R. W., De Vera, M. S. P., Bolivar, H. L., Velasco, R. R., Danting, J. C., Dionisio, E. E., Longalong, F. M., Reyes, R. A., Abella, T. A., Tayamen, M. M., & Eknath, A. E. (2012). Genetic improvement of farmed tilapias: Genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments. *Aquaculture*, 338–341, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.01.027>
15. Bentsen, H. B., Gjerde, B., Nguyen, N. H., Rye, M., Ponzoni, R. W., De Vera, M. S. P., Bolivar, H. L., Velasco, R. R., Danting, J. C., Dionisio, E. E., Longalong, F. M., Reyes, R. A., Abella, T. A., Tayamen, M. M., & Eknath, A. E. (2012). Genetic improvement of farmed tilapias: Genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments. *Aquaculture*, 338–341, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.01.027>
16. Bernaś, R., & Waś-Barcz, A. (2020). Genetic structure of important resident brown trout breeding lines in Poland. *Journal of Applied Genetics*, 61(2), 239–247. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00548-6>
17. Besson, M., De Boer, I. J. M., Vandeputte, M., Van Arendonk, J. a. M., Quillet, E., Komen, H., & Aubin, J. (2017). Effect of production quotas on economic and environmental values of growth rate and feed efficiency in sea cage fish farming. *PLoS ONE*, 12(3), e0173131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173131>
18. Besson, M., Komen, H., Aubin, J., De Boer, I. J. M., Poelman, M., Quillet, E., Vancoillie, C., Vandeputte, M., & Van Arendonk, J. a. M. (2014). Economic values of growth and feed efficiency for fish farming in recirculating aquaculture system with density and nitrogen output limitations: a case study with African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Animal Science*, 92(12), 5394–5405. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8266>
19. Besson, M., Komen, H., Rose, G., & Vandeputte, M. (2020). The genetic correlation between feed conversion ratio and growth rate affects the design of a breeding program for more sustainable fish production. *Genetics Selection Evolution*, 52(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12711-020-0524-0>
20. Bijma, P., & Woolliams, J. A. (2000). Prediction of rates of inbreeding in populations selected on best linear unbiased prediction of breeding value. *Genetics*, 156(1), 361–373. <https://doi.org/10.1093/genetics/156.1.361>
21. Blay, C., Haffray, P., Bugeon, J., D'Ambrosio, J., Dechamp, N., Collewet, G., Enez, F., Petit, V., Cousin, X., Corraze, G., Phocas, F., & Dupont-Nivet, M. (2021). Genetic Parameters and Genome-Wide Association Studies of Quality Traits Characterised Using Imaging Technologies in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Frontiers in Genetics*, 12, 639223. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.639223>

22. Bogdanović, V., Radojković, D., Vidić-Đedović, R., Stojić, P. (1994): Metode ocene aditivne genetske komponente nasleđa. I kongres genetičara Srbije, Vrnjačka Banja, Zbornik radova, 107.
23. Bogut, I., Novoselić, D., & Pavličević, J. (2006). Biologija riba. Poljoprivredni fakultet, 620 str.
24. Bolivar, R. B., & Newkirk, G. F. (2002). Response to within family selection for body weight in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using a single-trait animal model. *Aquaculture*, 204(3–4), 371–381. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00824-9](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00824-9)
25. Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., & Corner, R. (2010). *Aquaculture: global status and trends*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 365(1554), 2897–2912. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0170>
26. Boudry, P., Allal, F., Aslam, M. L., Bargelloni, L., Bean, T. P., Brard-Fudulea, S., Briec, M. S., Calboli, F. C., Gilbey, J., Haffray, P., Lamy, J., Morvezen, R., Purcell, C., Prodöhl, P. A., Vandeputte, M., Waldbieser, G. C., Sonesson, A. K., & Houston, R. D. (2021). Current status and potential of genomic selection to improve selective breeding in the main aquaculture species of International Council for the Exploration of the Sea (ICES) member countries. *Aquaculture Reports*, 20, 100700. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100700>
27. Brink, D. (2004). Genetic improvement of growth rate in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Dissertation. <http://hdl.handle.net/10019.1/15937>
28. Brown, M. S., Carvalheiro, R., Taylor, R. S., Mekkawy, W., Luke, T. D. W., Rands, L., Nieuwesteeg, D., Evans, B. S., Wade, N. M., Lind, C. E., & Hilder, P. E. (2023). Probabilistic reaction norm reveals family-related variation in the association between size, condition, and sexual maturation onset in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology*, 104(4), 939–949. <https://doi.org/10.1111/jfb.15626>
29. Burgner, R. L., Harris, C. K., & Light, J. T. (1989). Ocean Distribution and Migration of Steelhead (*Oncorhynchus mykiss*, formerly *Salmo gairdneri*). <http://hdl.handle.net/1773/4115>
30. Callet, T., Médale, F., Larroquet, L., Surget, A., Aguirre, P., Kerneis, T., Labbé, L., Quillet, E., Geurden, I., Skiba-Cassy, S., & Dupont-Nivet, M. (2017). Successful selection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on their ability to grow with a diet completely devoid of fishmeal and fish oil, and correlated changes in nutritional traits. *PLoS ONE*, 12(10), e0186705. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186705>
31. Campbell, M. A., Habibi, E., Auringer, G., Stephens, M., Rodzen, J., Conway, K. W., & Finger, A. J. (2023). Molecular systematics of redband trout from genome-wide DNA sequencing substantiates the description of a new taxon (Salmonidae: *Oncorhynchus mykiss calisulata*) from the McCloud River. *Zootaxa*, 5254(1), 1–29. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5254.1.1>
32. Cassell, B. (2009). Using heritability for genetic improvement. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:89621869>
33. Charo-Karisa, H., Komen, H., Rezk, M. A., Ponzoni, R. W., Van Arendonk, J. A., & Bovenhuis, H. (2006). Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia

- (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds. *Aquaculture*, 261(2), 479–486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.007>
34. Chavanne, H., Janssen, K., Hofherr, J., Contini, F., Haffray, P., Komen, H., Nielsen, E. E., & Bargelloni, L. (2016). A comprehensive survey on selective breeding programs and seed market in the European aquaculture fish industry. *Aquaculture International*, 24(5), 1287–1307. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9985-0>
35. Chen, P., Baas, T. J., Mabry, J. W., Koehler, K. J., & Dekkers, J. C. M. (2003). Genetic parameters and trends for litter traits in U.S. Yorkshire, Duroc, Hampshire, and Landrace pigs1. *Journal of Animal Science*, 81(1), 46–53. <https://doi.org/10.2527/2003.81146x>
36. Chen, Y. C., Nguyen, J., Semmens, K., Beamer, S. & Jaczynski, J. (2008). Chemical changes in omega-3-enriched farmed rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) fillets during abusive-temperature storage. *Food Control* 19, 599–608.
37. Chevassus B., Dupont-Nivet M., Mauger S., Haffray P., Vandeputte M., Estimation of heritabilities in two groups of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) with families mixed together since eyed stage, in: Proc. 7th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, 19–23 August 2002, Inra, CastanetTolosan, France, CD-ROM communication 06-04.
38. Cocan, D. (2008). Creșterea păstrăvului curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*) în sistem recirculant și condiții controlate de mediu. *Bioflux*, Cluj–Napoca.
39. Cocan, D., Zăhan, M., Miresan, V., Constantinescu, R., Raducu, C., Neghela, B., & Sărmaș, I. (2010). Studies on Some Productive and Reproductive Performance in Female Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) and Brown Trout (*Salmo Trutta Fario*) at Four Years of Age, From Fiad-Telcișor Salmonids Complex, Bistrița-Năsăud County. 43(2), 19–23.
40. Colihueque, N., & Araneda, C. (2014). Appearance traits in fish farming: progress from classical genetics to genomics, providing insight into current and potential genetic improvement. *Frontiers in Genetics*, 5, 251. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00251>
41. Crawford, S. S., & Muir, A. M. (2007). Global introductions of salmon and trout in the genus *Oncorhynchus*: 1870–2007. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18(3), 313–344. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9079-1>
42. D’Agaro, E., Favaro, A., Matiussi, S., Gibertoni, P. P., & Esposito, S. (2021). Genomic selection in salmonids: new discoveries and future perspectives. *Aquaculture International*, 29(5), 2259–2289. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00747-w>
43. D’Ambrosio, J., Phocas, F., Haffray, P., Bestin, A., Brard-Fudulea, S., Poncet, C., Quillet, E., Dechamp, N., Fraslin, C., Charles, M., & Dupont-Nivet, M. (2019). Genome-wide estimates of genetic diversity, inbreeding and effective size of experimental and commercial rainbow trout lines undergoing selective breeding. *Genetics Selection Evolution*, 51(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0468-4>
44. Davidson, J., Good, C., Welsh, C., & Summerfelt, S. T. (2014). Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 59, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.01.003>

45. De Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J. A., & Vandeputte, M. (2017). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 833–851. <https://doi.org/10.1111/raq.12202>
46. Debes, P. V., Solberg, M. F., Matre, I. H., Dyrhovden, L., & Glover, K. A. (2021). Genetic variation for upper thermal tolerance diminishes within and between populations with increasing acclimation temperature in Atlantic salmon. *Heredity*, 127(5), 455–466. <https://doi.org/10.1038/s41437-021-00469-y>
47. Đedović, R. (2015): Populaciona genetika i oplemenjivanje domaćih i gajenih životinja, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 393.
48. Devaa, J. W., Nithaniyal, S., Panneerselvam, V., & Uthandakalaipandian, R. (2023). Origin
49. Dressler, T. L., Lee, V. H., Klose, K., & Eliason, E. J. (2023). Thermal tolerance and vulnerability to warming differ between populations of wild *Oncorhynchus mykiss* near the species' southern range limit. *Scientific Reports*, 13(1), 14538. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41173-7>
50. Duncan, N., Sonesson, A., & Chavanne, H. (2013). Principles of finfish broodstock management in aquaculture: control of reproduction and genetic improvement. In Elsevier eBooks (pp. 23–75). <https://doi.org/10.1533/9780857097460.1.23>
51. Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N., Porter, M., & Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 493–531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>
52. Elvingson, P., & Johansson, K. (1993). Genetic and environmental components of variation in body traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to age. *Aquaculture*, 118(3–4), 191–204. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90456-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90456-9)
53. Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E., & Thurston, R. V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32(12), 2379–2383. <https://doi.org/10.1139/f75-274>
54. Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1989). Introduction to quantitative genetics (3rd ed.). Longman Scientific & Technical.
55. Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). Introduction to quantitative genetics (4th ed.). Harlow, England: Longman.
56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 236.
57. FAO 2009. The state of world fisheries and aquaculture 2008. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; <http://www.fao.org/fishery/sofia/en>
58. FAO, 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO, Rome, 2014
59. FAO, 2015. Fisheries and aquaculture software. FishStatJ - software for fishery statistical time series. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome.

60. FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
61. FAO. (2022). FAO report: Global fisheries and aquaculture production reaches a new record high. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/en/>
62. FAO. 2002. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA): 2002. Biennial report on fisheries and aquaculture globally. Ed. Wijkström, U.; Gumy, R.; Grainger, R. Fisheries Department, FAO, 2002. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/FISHERY/FISHERY.HTM>.
63. FAO. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. <http://faostat.fao.org>
64. Fernández, J., Meuwissen, T., Toro, M., & Mäki-Tanila, A. (2011). Management of genetic diversity in small farm animal populations. *Animal*, 5(11), 1684–1698. <https://doi.org/10.1017/s1751731111000930>
65. Fernández, J., Villanueva, B., & Toro, M. A. (2021). Optimum mating designs for exploiting dominance in genomic selection schemes for aquaculture species. *Genetics Selection Evolution*, 53(1). <https://doi.org/10.1186/s12711-021-00610-9>
66. Ferzola, P. H. S., Ringel, J., Beneder, E., Schulz, C., & Gierus, M. (2025). Performance Responses and Fillet Quality of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) to Increasing Addition Levels of Dietary Supplementation of Guanidinoacetic Acid. *Animals*, 15(2), 267. <https://doi.org/10.3390/ani15020267>
67. Fevolden, S., Røed, K. H., & Fjalestad, K. (2002). A combined salt and confinement stress enhances mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) selected for high stress responsiveness. *Aquaculture*, 216(1–4), 67–76. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00131-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00131-x)
68. Fishback, A. G., Danzmann, R. G., Ferguson, M. M., & Gibson, J. P. (2002). Estimates of genetic parameters and genotype by environment interactions for growth traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as inferred using molecular pedigrees. *Aquaculture*, 206(3–4), 137–150. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00707-4](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00707-4)
69. Fjalestad, K. T., Moen, T., & Gomez-Raya, L. (2003). Prospects for genetic technology in salmon breeding programmes. *Aquaculture Research*, 34(5), 397–406. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00823.x>
70. Fornshell, G. (2002). Rainbow trout - challenges and solutions. *Reviews in Fisheries Science*, 10(3–4), 545–557. <https://doi.org/10.1080/20026491051785>
71. Fraslin, C., Robledo, D., Kause, A., & Houston, R. D. (2023). Potential of low-density genotype imputation for cost-efficient genomic selection for resistance to *Flavobacterium columnare* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Genetics Selection Evolution*, 55(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00832-z>
72. Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2024). FishBase. <https://www.fishbase.org>

73. Fu, J., Shen, Y., Xu, X., & Li, J. (2016). Genetic parameter estimates for growth of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, at 10 and 18 months of age. *Aquaculture*, 450, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.018>
74. Gall, G. A. (1990). Basis for evaluating breeding plans. *Aquaculture*, 85(1–4), 125–142. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90012-c](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90012-c)
75. Gall, G. a. E. (1975). Genetics of reproduction in domesticated rainbow trout. *Journal of Animal Science*, 40(1), 19–28. <https://doi.org/10.2527/jas1975.40119x>
76. Gall, G., & Crandell, P. (1992). The rainbow trout. *Aquaculture*, 100(1–3), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90333-g](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90333-g)
77. Gall, G., & Huang, N. (1988). Heritability and selection schemes for rainbow trout: body weight. *Aquaculture*, 73(1–4), 43–56. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90040-3)
78. Gall, G., Bakar, Y., & Famula, T. (1993). Estimating genetic change from selection. In Elsevier eBooks (pp. 75–88). <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81527-9.50012-9>
79. Gallardo, J. A., Lhorente, J. P., & Neira, R. (2010). The consequences of including non-additive effects on the genetic evaluation of harvest body weight in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Genetics Selection Evolution*, 42(1), 19. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-42-19>
80. Gallardo-Hidalgo, J., Barría, A., Yoshida, G. M., & Yáñez, J. M. (2020). Genetics of growth and survival under chronic heat stress and trade-offs with growth- and robustness-related traits in rainbow trout. *Aquaculture*, 531, 735685. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735685>
81. Garcia, A., Tsuruta, S., Gao, G., Palti, Y., Lourenco, D., & Leeds, T. (2023). Genomic selection models substantially improve the accuracy of genetic merit predictions for fillet yield and body weight in rainbow trout using a multi-trait model and multi-generation progeny testing. *Genetics Selection Evolution*, 55(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00782-6>
82. Gjedrem, T. (1975). Possibilities for genetic gain in salmonids. *Aquaculture*, 6(1), 23–29. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(75\)90087-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(75)90087-3)
83. Gjedrem, T. (1985). Improvement of productivity through breeding schemes. *GeoJournal*, 10(3), 233–241. <https://doi.org/10.1007/bf00462124>
84. Gjedrem, T. (1992). Breeding plans for rainbow trout. *Aquaculture*, 100(1–3), 73–83. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90340-q](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90340-q)
85. Gjedrem, T. (1997). Flesh quality improvement in fish through breeding. *Aquaculture International*, 5(3), 197–206. <https://doi.org/10.1023/a:1014546816984>
86. Gjedrem, T. (2000). Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research*, 31(1), 25–33. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00389.x>
87. Gjedrem, T. (2005). Selection and breeding programs in aquaculture. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3342-7>
88. Gjedrem, T. (2010). The first family-based breeding program in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 2(1), 2–15. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01011.x>

89. Gjedrem, T. (2012). Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: A personal opinion review. *Aquaculture*, 344–349, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.003>
90. Gjedrem, T., & Baranski, M. (2009). Selective Breeding in Aquaculture: An Introduction. In *Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries*. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2773-3>
91. Gjedrem, T., & Kolstad, K., (2012). Development of breeding programs for aquatic species should be given high priority . *World Aquaculture*, 43(3), (10–13).
92. Gjedrem, T., & Robinson, N. (2014). Advances by Selective Breeding for Aquatic Species: A review. *Agricultural Sciences*, 05(12), 1152–1158. <https://doi.org/10.4236/as.2014.512125>
93. Gjedrem, T., & Rye, M. (2016). Selection response in fish and shellfish: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 168–179. <https://doi.org/10.1111/raq.12154>
94. Gjedrem, T., & Thodesen, J., 2005. Selection. in: Gjedrem, T. (Ed.), *Selection and Breeding Programs in Aquaculture*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. Pages 89-112
95. Gjedrem, T., Olesen, I., 2005. Basic statistical parameters. in: Gjedrem, T. (Ed.), *Selection and Breeding Programs in Aquaculture*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. Pages 45-72.
96. Gjedrem, T., Robinson, N., & Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*, 350–353, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>
97. Gjerde, B. (1986). Growth and reproduction in fish and shellfish. *Aquaculture*, 57(1–4), 37–55. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90179-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90179-1)
98. Gjerde, B. (2011). Importance and principles of genetic improvement in aquaculture production, V International conference „Aquaculture & Fishery“, Faculty of Agriculture, University of Belgrade, 48 - 52.
99. Gjerde, B., & Schaeffer, L. (1989). Body traits in rainbow trout. *Aquaculture*, 80(1–2), 25–44. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90271-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90271-8)
100. Gjøn, H. (1997). Past, present, and future of genetic improvement in salmon aquaculture. *ICES Journal of Marine Science*, 54(6), 1009–1014. [https://doi.org/10.1016/s1054-3139\(97\)80005-7](https://doi.org/10.1016/s1054-3139(97)80005-7)
101. Glamuzina, B., Pavličević, J., Tutman, P., Glamuzina, L., Bogut, I., & Dulčić, J. (2013). *Ribe Neretve. Udruga Centar za zaštitu i promicanje endemskih i autohtonih ribljih vrsta, CEAV; Modro zelena zadruga braniteljia*, 263 str.
102. Gonen, S., Baranski, M., Thorland, I., Norris, A., Grove, H., Arnesen, P., Bakke, H., Lien, S., Bishop, S. C., & Houston, R. D. (2015). Mapping and validation of a major QTL affecting resistance to pancreas disease (salmonid alphavirus) in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Heredity*, 115(5), 405–414. <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.37>
103. Griot, R., Allal, F., Phocas, F., Brard-Fudulea, S., Morvezen, R., Haffray, P., François, Y., Morin, T., Bestin, A., Bruant, J., Cariou, S., Peyrou, B., Brunier, J., & Vandeputte, M. (2021).

Optimization of Genomic Selection to Improve Disease Resistance in Two Marine Fishes, the European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) and the Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*). *Frontiers in Genetics*, 12, 754416. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.665920>

104. Groeneveld, E., Kovac, M., Mielenz, N. (2010): VCE User's Guide and Reference Manual, Version 6.0. Institute of Farm Animal Genetics, Friedrich Loeffler Institute, Neustadt, Germany.

105. Gross, R., Lulla, P., & Paaver, T. (2007). Genetic variability and differentiation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) strains in northern and Eastern Europe. *Aquaculture*, 272, S139–S146. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.004>

106. Gunadi, B., Robisalimi, A., & Lamanto, N. (2021). Improving genetic quality of cultivated aquatic species under a breeding program: Case study of first generation (G1) population of red tilapia (*Oreochromis spp.*). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 744(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/744/1/012020>

107. Gunnes, K., & Gjedrem, T. (1981). A genetic analysis of body weight and length in rainbow trout reared in seawater for 18 months. *Aquaculture*, 24, 161–174. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90053-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90053-3)

108. Haffray, P., Bugeon, J., Rivard, Q., Quittet, B., Puyo, S., Allamelou, J. M., Vandeputte, M., & Dupont-Nivet, M. (2013). Genetic parameters of in-vivo prediction of carcass, head and fillet yields by internal ultrasound and 2D external imagery in large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 410–411, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.06.016>

109. Haffray, P., Vandeputte, M., Petit, V., Pincet, C., Chatain, B., Chapuis, H., Mériaux, J., Coudurier, B., Quillet, E., & Dupont-Nivet, M. (2012). Minimizing maternal effect in salmonid families mixed since eyed stages and a posteriori DNA-pedigree. *Livestock Science*, 150(1–3), 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.08.017>

110. Halverson, M. A. (2008). Stocking Trends: A quantitative review of governmental fish stocking in the United States, 1931 to 2004. *Fisheries*, 33(2), 69–75. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-33.2.69>

111. Hamzah, A., Nguyen, N. H., Ponzoni, R. W., Kamaruzzaman, N., & Subha, B. (2008). Performance and survival of three red tilapia strains (*Oreochromis spp.*) in pond environment in Kedah state, Malaysia. In: Proc. the 8th International Symposium on Tilapia Aquaculture, Cairo, Egypt, October 2008, vol 8, pp 199–211.

112. Hamzah, A., Ponzoni, R., Nguyen, N., Khaw, H., Yee, H., & SA, M. N. (2014). Performance of the Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) strain over ten generations of selection in Malaysia. <https://hdl.handle.net/20.500.12348/65>

113. Hardy, R. W. (2002). Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. In C. D. Webster & C. Lim (Eds.), *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture* (pp. 184–202). CAB International.

114. Havenstein, G., Ferket, P., & Qureshi, M. (2003). Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science*, 82(10), 1500–1508. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1500>

115. Henderson, C. R. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. Biometrics Unit, Cornell University.
116. Henderson, C. R. (1984). Applications of linear models in animal breeding. In University of Guelph eBooks. <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:000162616>
117. Henryon, M., Jokumsen, A., Berg, P., Lund, I., Pedersen, P. B., Olesen, N. J., & Slierendrecht, W. J. (2002). Genetic variation for growth rate, feed conversion efficiency, and disease resistance exists within a farmed population of rainbow trout. *Aquaculture*, 209(1–4), 59–76. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00729-3](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00729-3)
118. Hill, W. G. (2009). Understanding and using quantitative genetic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 365(1537), 73–85. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0203>
119. Hill, W. G., & Bünger, L. (2003). Inferences on the Genetics of Quantitative Traits from Long-Term Selection in Laboratory and Domestic Animals. *Plant Breeding Reviews*, 169–210. <https://doi.org/10.1002/9780470650288.ch6>
120. Hill, W. G., & Mackay, T. F. C. (2004). D. S. Falconer and Introduction to Quantitative Genetics. *Genetics*, 167(4), 1529–1536. <https://doi.org/10.1093/genetics/167.4.1529>
121. Houston, R. D., Bean, T. P., Macqueen, D. J., Gundappa, M. K., Jin, Y. H., Jenkins, T. L., Selly, S. L. C., Martin, S. a. M., Stevens, J. R., Santos, E. M., Davie, A., & Robledo, D. (2020). Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nature Reviews Genetics*, 21(7), 389–409. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0227-y>
122. Houston, R. D., Kriaridou, C., & Robledo, D. (2022). Widespread adoption of genetic technologies is key to sustainable expansion of global aquaculture. *Animal*, 16(Suppl. 1), 100642. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100642>
123. Hristić, Đ., & Bunjevac, I. (1991). Gjenje slatkovodnih riba. Građevinska knjiga, 243 str. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2023.36.2.003>
124. Hu, G., Gu, W., Bai, Q., & Wang, B. (2013). Estimation of genetic parameters for growth traits in a breeding program for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in China. *Genetics and Molecular Research*, 12(2), 1457–1467. <https://doi.org/10.4238/2013.april.26.7>
125. Hulata, G. (2001). Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies. *Genetica*, 111(1–3), 155–173. <https://doi.org/10.1023/a:1013776931796>
126. Hung, D., & Nguyen, N. H. (2015). Are female reproductive status and male morphotypes of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* altered by selection for high growth? *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 48(5), 299–308. <https://doi.org/10.1080/10236244.2015.1073457>
127. Hung, D., Vu, N. T., Nguyen, N. H., Ponzoni, R. W., Hurwood, D. A., & Mather, P. B. (2013). Genetic response to combined family selection for improved mean harvest weight in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Vietnam. *Aquaculture*, 412–413, 70–73. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.015>

128. Hvas, M., & Oppedal, F. (2019). Physiological responses of farmed Atlantic salmon and two cohabitant species of cleaner fish to progressive hypoxia. *Aquaculture*, 512, 734353. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734353>
129. Innes, J. K., & Calder, P. C. (2020). Marine omega-3 (N-3) fatty acids for cardiovascular health: An update for 2020. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1362. <https://doi.org/10.3390/ijms21041362>
130. Ivanković, A. (2005). Uporaba molekularne genetike u animalnoj proizvodnji. <https://hrcak.srce.hr/1950>
131. Janhunen, M., Kause, A., Vehviläinen, H., & Järvisalo, O. (2012). Genetics of Microenvironmental Sensitivity of Body Weight in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Selected for Improved Growth. *PLoS ONE*, 7(6), e38766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038766>
132. Janhunen, M., Koskela, J., Ninh, N. H., Vehviläinen, H., Koskinen, H., Nousiainen, A., & Thøa, N. P. (2016). Thermal sensitivity of growth indicates heritable variation in 1-year-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Genetics Selection Evolution*, 48(1), 94. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0272-3>
133. Janković, S. D. (2017): Procena priplodne vrednosti bikova holštajn-frizijske rase za osobine tipa, Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 198.
134. Janssen, K., Chavanne, H., Berentsen, P., & Komen, H. (2017). Impact of selective breeding on European aquaculture. *Aquaculture*, 472,8–16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.012>
135. Jobling, M. (1994). *Fish bioenergetics*. Chapman & Hall.
136. Jobling, M. (1995). Simple indices for the assessment of the influences of social environment on growth performance, exemplified by studies on Arctic charr. *Aquaculture International*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/bf00240922>
137. Jobling, M. (2001). Nutrient partitioning and the influence of feed composition on body composition. In: Houlihan, D., Boujard, T., Jobling, M. (Eds.), *Food Intake in Fish*. Black-well Science Ltd, 414.
138. Jonsson, B. (2024). The effect of climate change on salmonid fishes in rivers. *Fishes*, 9(1), 29. <https://doi.org/10.3390/fishes9010029>
139. Jonsson, B., & Jonsson, N. (2011). Ecology of Atlantic salmon and brown trout: Habitat as a template for life histories. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1189-1>
140. Jonsson, B., & Jonsson, N. (2011). Ecology of Atlantic salmon and brown trout. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1189-1>
141. Joshi, R., Woolliams, J., Meuwissen, T., & Gjøen, H. (2018). Maternal, dominance and additive genetic effects in Nile tilapia; influence on growth, fillet yield and body size traits. *Heredity*, 120(5), 452–462. <https://doi.org/10.1038/s41437-017-0046-x>
142. Kause, A., Kiessling, A., Martin, S. a. M., Houlihan, D., & Ruohonen, K. (2016). Genetic improvement of feed conversion ratio via indirect selection against lipid deposition in farmed

- rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *British Journal of Nutrition*, 116(9), 1656–1665. <https://doi.org/10.1017/s0007114516003603>
143. Kause, A., Paananen, T., Ritola, O., & Koskinen, H. (2007). Direct and indirect selection of visceral lipid weight, fillet weight, and fillet percentage in a rainbow trout breeding program. *Journal of Animal Science*, 85(12), 3218–3227. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0332>
144. Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Eskelinen, U., & Mäntysaari, E. (2003). Big and beautiful? Quantitative genetic parameters for appearance of large rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 62(3), 610–622. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00051.x>
145. Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Mäntysaari, E., & Eskelinen, U. (2002). Coupling body weight and its composition: a quantitative genetic analysis in rainbow trout. *Aquaculture*, 211(1–4), 65–79. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00884-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00884-5)
146. Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Mäntysaari, E., & Eskelinen, U. (2003). Selection against early maturity in large rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: the quantitative genetics of sexual dimorphism and genotype-by-environment interactions. *Aquaculture*, 228(1–4), 53–68. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(03\)00244-8](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00244-8)
147. Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Wahlroos, H., & Mäntysaari, E. A. (2005). Genetic trends in growth, sexual maturity and skeletal deformations, and rate of inbreeding in a breeding programme for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 247(1–4), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.023>
148. Kause, A., Tobin, D., Houlihan, D. F., Martin, S. a. M., Mäntysaari, E. A., Ritola, O., & Ruohonen, K. (2006). Feed efficiency of rainbow trout can be improved through selection: Different genetic potential on alternative diets. *Journal of Animal Science*, 84(4), 807–817. <https://doi.org/10.2527/2006.844807x>
149. Keller, L. & Waller, D. (2002). Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(5), 230–241. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(02\)02489-8](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(02)02489-8)
150. Kincaid, H. L. (1977). Rotational Line Crossing: An Approach to the Reduction of Inbreeding Accumulation in Trout Brood Stocks. *The Progressive Fish-Culturist*, 39(4), 179–181. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)39\[179:RLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1977)39[179:RLC]2.0.CO;2)
151. Kincaid, H. L., Bridges, W. R., & von Limbach, B. (1977). Three Generations of Selection for Growth Rate in Fall-Spawning Rainbow Trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 106(6), 621–628. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)106<621:TGOSFG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1977)106<621:TGOSFG>2.0.CO;2)
152. Klemetsen, A., Amundsen, P., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O’Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar*L., brown trout *Salmo trutta*L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus*(L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(1), 1–59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
153. Klütsch, C. F. C., Maduna, S. N., Polikarpova, N., Forfang, K., Beddari, B., Gjelland, K. Ø., Aspholm, P. E., Amundsen, P.-A., & Hagen, S. B. (2021). Temporal analysis shows relaxed genetic erosion following improved stocking practices in a subarctic transnational brown trout population. *Scientific Reports*, 11, 17396. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96681-1>

154. Knap, P. W., & Kause, A. (2018). Phenotyping for genetic improvement of feed efficiency in fish: Lessons from Pig Breeding. *Frontiers in Genetics*, 9, 184. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00184>
155. Korus, J., Filgueira, R., & Grant, J. (2024). A case study on the effect of aquaculture operations on the physiology and behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during two heat events on a commercial farm. *Frontiers in Aquaculture*, 3. <https://doi.org/10.3389/faquc.2024.1428684>
156. Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., & Appel, L. J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 106(21), 2747–2757. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000038493.65177.94>
157. Kurta, K., Jeuthe, H., de Koning, D. J., & Palaiokostas, C. (2023). Insights from the early generations of the Swedish rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) breeding program. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section a - Animal Science*, 72(3–4), 88–99. <https://doi.org/10.1080/09064702.2023.2245490>
158. Lagarde, H., Lallias, D., Patrice, P., Dehaullon, A., Prchal, M., François, Y., D'Ambrosio, J., Segret, E., Acin-Perez, A., Cachelou, F., Haffray, P., Dupont-Nivet, M., & Phocas, F. (2023). Genetic architecture of acute hyperthermia resistance in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and genetic correlations with production traits. *Genetics Selection Evolution*, 55(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00811-4>
159. Leeds, T. D., Vallejo, R. L., Weber, G. M., Gonzalez-Pena, D., & Silverstein, J. T. (2016). Response to five generations of selection for growth performance traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 465, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.036>
160. Lillehammer, M., Ødegård, J., Madsen, P., Gjerde, B., Refstie, T., & Rye, M. (2013). Survival, growth and sexual maturation in Atlantic salmon exposed to infectious pancreatic necrosis: a multi-variate mixture model approach. *Genetics Selection Evolution*, 45(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-45-8>
161. Lubzens, E., Young, G., Bobe, J., & Cerdà, J. (2009). Oogenesis in teleosts: How fish eggs are formed. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 367–389. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.022>
162. Lynch, M., & Walsh, B. (1998). *Genetics and analysis of quantitative traits*. Sinauer Associates Incorporated.
163. Ma, Z., Zhang, J., Zhang, X., Li, H., Liu, Y., & Gao, L. (2023). Effects of temperature and photoperiod on growth, physiological, and behavioral performance in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) under indoor aquaculture condition. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1114662>
164. MacCrimmon, H. R. (1971). World Distribution of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 28(5), 663–704. <https://doi.org/10.1139/f71-098>
165. Manor, M. L., Cleveland, B. M., Kenney, P. B., Yao, J., & Leeds, T. (2015). Differences in growth, fillet quality, and fatty acid metabolism-related gene expression between juvenile male and

- female rainbow trout. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(2), 533–547. <https://doi.org/10.1007/s10695-015-0027-z>
- 166.** Markovic, Z. (2022). Aquaculture in Serbia. *Veterinarski Glasnik*, 76(2), 168–175. <https://doi.org/10.2298/vetgl201124017m>
- 167.** Marković, Z., & Poleksić, V. (2013). Aquaculture in Serbia. *Aquaculture Europe* 38, 3
- 168.** Marković, Z., Mitrović -Tutundžić, V. (2003): Gajenja riba. *Zadužbina Andrejević*, 129.
- 169.** Marković, Zoran & Poleksic, Vesna & Živić, Ivana & Stankovic, Miomir & Cuk, D. & Spasic, Milan & Dulić, Zorka & Raskovic, Bozidar & Ciric, Milos & Boskovic, D. & Vukojevic, D.. (2009). State of the art of fishery in Serbia.. Faculty of agriculture Belgrade. 30-38.
- 170.** Martinez, V., Dettleff, P. J., Galarce, N., Bravo, C., Dorner, J., Iwamoto, R. N., & Naish, K. (2022). Estimates of Effective Population Size in Commercial and Hatchery Strains of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792)). *Animals*, 12(5), 647. <https://doi.org/10.3390/ani12050647>
- 171.** Martinez, V., Kause, A., Mäntysaari, E., & Mäki-Tanila, A. (2006). The use of alternative breeding schemes to enhance genetic improvement in rainbow trout: II. Two-stage selection. *Aquaculture*, 254(1–4), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.011>
- 172.** Martyniuk, C. J., Perry, G. M. L., Mogahadam, H. K., Ferguson, M. M., & Danzmann, R. G. (2003). The genetic architecture of correlations among growth-related traits and male age at maturation in rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 63(3), 746–764. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00188.x>
- 173.** Mayneris-Perxachs, J., Bondia-Pons, I., Serra-Majem, L., Castellote, A. I., & López-Sabater, M. C. (2009). Long-chain n-3 fatty acids and classical cardiovascular disease risk factors among the Catalan population. *Food Chemistry*, 119(1), 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.073>
- 174.** McMillan, J. R., Dunham, J. B., Reeves, G. H., Mills, J. S., & Jordan, C. E. (2011). Individual condition and stream temperature influence early maturation of rainbow and steelhead trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Environmental Biology of Fishes*, 93(3), 343–355. <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9921-0>
- 175.** Meinelt, T., Kroupova, H., Stüber, A., Rennert, B., Wienke, A., & Steinberg, C. E. (2010). Can dissolved aquatic humic substances reduce the toxicity of ammonia and nitrite in recirculating aquaculture systems? *Aquaculture*, 306(1–4), 378–383. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.06.007>
- 176.** Metcalfe, N. B., & Monaghan, P. (2001). Compensation for a bad start: grow now, pay later? *Trends in Ecology & Evolution*, 16(5), 254–260. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(01\)02124-3](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(01)02124-3)
- 177.** Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., & Goddard, M. E. (2001). Prediction of total genetic value using Genome-Wide Dense Marker maps. *Genetics*, 157(4), 1819–1829. <https://doi.org/10.1093/genetics/157.4.1819>

- 178.** Meuwissen, T., Hayes, B., & Goddard, M. (2016). Genomic selection: A paradigm shift in animal breeding. *Animal Frontiers*, 6(1), 6–14. <https://doi.org/10.2527/af.2016-0002>
- 179.** Meyer, K. (2007): WOMBAT: A program for mixed model analyses by restricted maximum likelihood. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8(11), 815–821.
- 180.** Mørkøre, T., Vallet, J., Cardinal, M., Gomez-Guillen, M., Montero, P., Torrissen, O., Nortvedt, R., Sigurgisladottir, S., & Thomassen. (2001). Fat content and fillet shape of Atlantic salmon: Relevance for processing yield and quality of raw and smoked products. *Journal of Food Science*, 66(9), 1348–1354. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15213.x>
- 181.** Mozaffarian, D., & Rimm, E. B. (2006). Fish intake, contaminants, and human health. *JAMA*, 296(15), 1885. <https://doi.org/10.1001/jama.296.15.1885>
- 182.** Mozaffarian, D., Psaty, B. M., Rimm, E. B., Lemaitre, R. N., Burke, G. L., Lyles, M. F., Lefkowitz, D., & Siscovick, D. S. (2004). Fish intake and risk of incident atrial fibrillation. *Circulation*, 110(4), 368–373. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000138154.00779.a5>
- 183.** Mrode, R. A. (2014). Linear models for the prediction of animal breeding values. In CABI eBooks. <https://doi.org/10.1079/9781780643915.0000>
- 184.** Mu, X. (2025). Genetic and molecular approaches for breeding improvement in aquaculture. *Fishes*, 10(9), 434. <https://doi.org/10.3390/fishes10090434>
- 185.** Navarro, A., Zamorano, M. J., Hildebrandt, S., Ginés, R., Aguilera, C., & Afonso, J. M. (2009). Estimates of heritabilities and genetic correlations for body composition traits and G×E interactions, in gilthead seabream (*Sparus auratus* L.). *Aquaculture*, 295(3–4), 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.012>
- 186.** Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., Little, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S. E., & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551–563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- 187.** Neira, R., Lhorente, J. P., Araneda, C., Díaz, N., Bustos, E., & Alert, A. (2004). Studies on carcass quality traits in two populations of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): phenotypic and genetic parameters. *Aquaculture*, 241(1–4), 117–131. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.08.009>
- 188.** Neira, Roberto. (2010). Breeding in Aquaculture Species: Genetic Improvement Programs in Developing Countries. Proceedings of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 8.
- 189.** Nelson, J. S., Grande, T. C., & Wilson, M. V. H. (2016). Fishes of the world. <https://doi.org/10.1002/9781119174844>
- 190.** Nestor, K. E., Noble, D., Zhu, J., & Moritsu, Y. (1996). Direct and correlated responses to Long-Term selection for increased body weight and egg production in Turkeys. *Poultry Science*, 75(10), 1180–1191. <https://doi.org/10.3382/ps.0751180>
- 191.** Nguyen, N. H., Khaw, H. L., Ponzoni, R. W., Hamzah, A., & Kamaruzzaman, N. (2007). Can sexual dimorphism and body shape be altered in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by genetic means? *Aquaculture*, 272, S38–S46. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.013>

192. Nguyen, N. H., Ponzoni, R. W., Abu-Bakar, K. R., Hamzah, A., Khaw, H. L., & Yee, H. Y. (2010). Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 305(1–4), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.007>
193. Nilsson J. (1994). Genetics of growth of juvenile arctic char. *Transactions of the American Fisheries Society*, Volume 123, Issue 3, May 1994, Pages 430–434, [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1994\)123<0430:GOGOJA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1994)123<0430:GOGOJA>2.3.CO;2)
194. Nilsson, J., Backström, T., Stien, L., Carlberg, H., Jeuthe, H., Magnhagen, C., & Brännäs, E. (2016). Effects of age and rearing environment on genetic parameters of growth and body weight and heritability of skin pigmentation in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Aquaculture*, 453, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.035>
195. Niva, T., & Jokela, J. (2000). Phenotypic Correlation of Juvenile Growth Rate between Different Consecutive foraging Environments in a Salmonid fish: A Field Experiment. *Evolutionary Ecology*, 14(2). <https://doi.org/10.1023/a:1011066912342>
196. North, B., Turnbull, J., Ellis, T., Porter, M., Migaud, H., Bron, J., & Bromage, N. (2006). The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 255(1–4), 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.01.004>
197. O’Flynn, F. M., Bailey, J. K., & Friars, G. W. (1999). Responses to two generations of index selection in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 173(1–4), 143–147. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00482-7](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00482-7)
198. Ogata, H. Y., Oku, H., & Murai, T. (2002). Growth, feed efficiency and feed intake of offspring from selected and wild Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 211(1–4), 183–193. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00798-0](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00798-0)
199. Paisley, L. G., Ariel, E., Lyngstad, T., Jónsson, G., Vennerström, P., Hellström, A., & Østergaard, P. (2010). An overview of aquaculture in the Nordic countries. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00309.x>
200. Palaiokostas, C., Anjum, A., Jeuthe, H., Kurta, K., Pinto, F. L., & De Koning, D. J. (2021). A genomic-based vision on the genetic diversity and key performance traits in selectively bred Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Evolutionary Applications*, 15(4), 565–577. <https://doi.org/10.1111/eva.13261>
201. Palaiokostas, C., Jeuthe, H., & De Koning, D. (2020). Assessing the potential of improving growth and survival to the eyed stage in selectively bred Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 138(3), 326–337. <https://doi.org/10.1111/jbg.12509>
202. Palejowski, H., Bylemans, J., Ammann, V., Da Cunha, L. M., Nusbaumer, D., Castro, I., Uppal, A., Mobley, K. B., Knörr, S., & Wedekind, C. (2022). Sex-Specific life history affected by stocking in juvenile brown trout. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.869925>
203. Pante, M. R., Gjerde, B., & McMillan, I. (2001). Effect of inbreeding on body weight at harvest in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 192(2–4), 201–211. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00467-1](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00467-1)

- 204.** Pante, M. R., Gjerde, B., McMillan, I., & Misztal, I. (2002). Estimation of additive and dominance genetic variances for body weight at harvest in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 204(3–4), 383–392. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00825-0](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00825-0)
- 205.** Paul, K., D’Ambrosio, J., & Phocas, F. (2021). Temporal and region-specific variations in genome-wide inbreeding effects on female size and reproduction traits of rainbow trout. *Evolutionary Applications*, 15(4), 645–662. <https://doi.org/10.1111/eva.13308>
- 206.** Perrier, C., Normandeau, É., Dionne, M., Richard, A., & Bernatchez, L. (2014). Alternative reproductive tactics increase effective population size and decrease inbreeding in wild Atlantic salmon. *Evolutionary Applications*, 7(9), 1094–1106. <https://doi.org/10.1111/eva.12172>
- 207.** Phuc, T. H., Khoa, P. D., Dang, N. T., Huong, T. T. M., Lien, H. T. B., Tham, V. T. H., Duy, N. H., & Nguyen, N. H. (2025). Genotype-by-Environment Interaction in Red Tilapia (*Oreochromis spp.*): Implications for Genetic Parameters and Trait Performance. *Genes*, 16(8), 966. <https://doi.org/10.3390/genes16080966>
- 208.** Picker, M.D. & Griffiths, C.L. 2011. Alien and Invasive Animals – A South African Perspective. Randomhouse/Struik, Cape Town, South Africa. 240 pp.
- 209.** Ponzoni, R. W., Hamzah, A., Tan, S., & Kamaruzzaman, N. (2005). Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 247(1–4), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.020>
- 210.** Ponzoni, R. W., Nguyen, N. H., Khaw, H. L., Hamzah, A., Bakar, K. R. A., & Yee, H. Y. (2011). Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the WorldFish Center with the GIFT strain. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 27–41. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01041.x>
- 211.** Prchal, M., Bugeon, J., Vandeputte, M., Kause, A., Vergnet, A., Zhao, J., Gela, D., Genestout, L., Bestin, A., Haffray, P., & Kocour, M. (2018). Potential for Genetic Improvement of the Main Slaughter Yields in Common Carp With in vivo Morphological Predictors. *Frontiers in Genetics*, 9, 283. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00283>
- 212.** Prescott, L. A., Scholtens, M. R., Walker, S. P., Clarke, S. M., Dodds, K. G., Miller, M. R., Semmens, J. M., Carter, C. G., & Symonds, J. E. (2024). Genetic parameters and genotype-by-environment interaction estimates for growth and feed efficiency related traits in Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, reared under low and moderate flow regimes. *Genetics Selection Evolution*, 56(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12711-024-00929-z>
- 213.** Quinton, C. D., McMillan, I., & Glebe, B. D. (2005). Development of an Atlantic salmon (*Salmo salar*) genetic improvement program: Genetic parameters of harvest body weight and carcass quality traits estimated with animal models. *Aquaculture*, 247(1–4), 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.030>
- 214.** Rameez, R., Jahageerdar, S., Chanu, T. I., Jayaraman, J., & Bangera, R. (2020). Genetic variation among full-sib families and the effect of non-genetic factors on growth traits at harvest in *Clarias magur* (Hamilton, 1822). *Aquaculture Reports*, 18, 100411. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100411>

215. Remen, M., Sievers, M., Torgersen, T., & Oppedal, F. (2016). The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture*, 464, 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.037>
216. Rezk, M. A., Ponzoni, R. W., Khaw, H. L., Kamel, E., Dawood, T., & John, G. (2009). Selective breeding for increased body weight in a synthetic breed of Egyptian Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Response to selection and genetic parameters. *Aquaculture*, 293(3–4), 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.019>
217. Roldi, G., Robath, S., Porto, C., Pilau, E., Giaquinto, P., Neto, J. F., Lala, B., Mari, G. C., Santos, C. T., Anastácio, G. N., Cangianelli, G. H., Ferreira, A. L., Ouros, C. C., Chavesk, G. H. C., Souza, M. L. R., De Oliveira Marques, D., & Claudino-Silva, S. C. (2025). Stocking density modulates tilapia (*Oreochromis niloticus*) performance and fillet quality through phospholipid remodeling. *Scientific Reports*, 15(1), 41944. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25814-7>
218. Rutten, M. J., Bovenhuis, H., & Komen, H. (2005). Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 246(1–4), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.006>
219. Rutten, M. J., Komen, H., & Bovenhuis, H. (2005). Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. *Aquaculture*, 246(1–4), 101–113. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.020>
220. Ruyet, J. P., Labbé, L., Bayon, N. L., Sévère, A., Roux, A. L., Delliou, H. L., & Quémener, L. (2008). Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Living Resources*, 21(2), 185–195. <https://doi.org/10.1051/alr:2008024>
221. Rye, M., & Refstie, T. (1995). Phenotypic and genetic parameters of body size traits in Atlantic salmon *Salmo Salar* L. *Aquaculture Research*, 26(12), 875–885. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00882.x>
222. Rye, M., Gjerde, B., & Gjedrem, T. (2010). Genetic improvement programs for aquaculture species in developed countries. In *Proceedings of the 9th world congress on genetics applied to livestock production* (Vol. 8).
223. RZS. Republički zavod za statistiku. <https://data.stat.gov.rs>. Ažurirano: 7. 05. 2024.
224. Sae-Lim, P., Kause, A., Janhunen, M., Vehviläinen, H., Koskinen, H., Gjerde, B., Lillehammer, M., & Mulder, H. A. (2015). Genetic (co)variance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) body weight and its uniformity across production environments. *Genetics Selection Evolution*, 47(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0122-8>
225. Sae-Lim, P., Kause, A., Mulder, H. A., Martin, K. E., Barfoot, A. J., Parsons, J. E., Davidson, J., Rexroad, C. E., Van Arendonk, J. a. M., & Komen, H. (2013). Genotype-by-environment interaction of growth traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): A continental scale study1. *Journal of Animal Science*, 91(12), 5572–5581. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5949>
226. Sae-Lim, P., Komen, H., Kause, A., & Mulder, H. A. (2014). Identifying environmental variables explaining genotype-by-environment interaction for body weight of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): reaction norm and factor analytic models. *Genetics Selection Evolution*, 46(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-46-16>

227. Sae-Lim, P., Komen, H., Kause, A., Martin, K. E., Crooijmans, R., Van Arendonk, J. A., & Parsons, J. E. (2012). Enhancing selective breeding for growth, slaughter traits and overall survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 372–375, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.031>
228. Sae-Lim, P., Komen, H., Kause, A., Martin, K. E., Crooijmans, R., Van Arendonk, J. A., & Parsons, J. E. (2013). Enhancing selective breeding for growth, slaughter traits and overall survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 372–375, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.031>
229. Sae-Lim, P., Mulder, H., Gjerde, B., Koskinen, H., Lillehammer, M., & Kause, A. (2015). Genetics of growth reaction norms in farmed rainbow trout. *PLoS ONE*, 10(8), e0135133. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135133>
230. Sahena, F., Zaidul, I., Jinap, S., Saari, N., Jahurul, H., Abbas, K., & Norulaini, N. (2009). PUFAs in fish: extraction, fractionation, importance in health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 59–74. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00069.x>
231. Sanchez, M. (2001). La sélection sur la croissance de la truite fario (*Salmo trutta*) affecte la consommation mais pas l'efficacité alimentaire. *Aquatic Living Resources*, 14(1), 41–48. [https://doi.org/10.1016/s0990-7440\(00\)01103-7](https://doi.org/10.1016/s0990-7440(00)01103-7)
232. Santos, D., Rocha, E., Malhão, F., Lopes, C., Gonçalves, J. F., & Madureira, T. V. (2021). Multi-Parametric portfolio to assess the fitness and gonadal maturation in four key reproductive phases of brown trout. *Animals*, 11(5), 1290. <https://doi.org/10.3390/ani11051290>
233. SAS (2013) SAS Version 9.4, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
234. Saura, M., Villanueva, B., Fernández, J. & Toro, M. A. (2017). Effect of assortative mating on genetic gain and inbreeding in aquaculture selective breeding programs. *Aquaculture*, 472, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.05.013>
235. Schulz, R. W., De França, L. R., Lareyre, J., LeGac, F., Chiarini-Garcia, H., Nobrega, R. H., & Miura, T. (2009). Spermatogenesis in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 390–411. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.013>
236. Serbezov, D., Bernatchez, L., Olsen, E. M., & Vøllestad, L. A. (2010). Quantitative genetic parameters for wild stream-living brown trout: heritability and parental effects. *Journal of Evolutionary Biology*, 23(8), 1631–1641. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02028.x>
237. Silverstein, J. T., Vallejo, R. L., Palti, Y., Leeds, T. D., Rexroad, C. E., Welch, T. J., Wiens, G. D., & Ducrocq, V. (2008). Rainbow trout resistance to bacterial cold-water disease is moderately heritable and is not adversely correlated with growth. *Journal of Animal Science*, 87(3), 860–867. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1157>
238. Simmons, R. E., Lavretsky, P., & May, B. (2009). Introgressive hybridization of redband trout in the Upper McCloud River Watershed. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139(1), 201–213. <https://doi.org/10.1577/t08-245.1>
239. Singh, A. K., Kamalam, B. S., & Kumar, P. (2016). Charting ways to invigorate rainbow trout production in India. *Journal of Fisheries Sciences*, 10, 25–32.

240. Skaarud, A., Woolliams, J. A., & Gjøen, H. M. (2010). Strategies for controlling inbreeding in fish breeding programs; an applied approach using optimum contribution (OC) procedures. *Aquaculture*, 311(1–4), 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.023>
241. Sloat, M. R., & Reeves, G. H. (2014). Individual condition, standard metabolic rate, and rearing temperature influence steelhead and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) life histories. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(4), 491–501. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0366>
242. Southern India As Inferred From Y-linked Marker. *Asian Fisheries Science*, 36(2).
243. Spirić, A., Trbović, D., Vranić, D., Đinović, J., Petronijević, R., Milijašević, M., Janković, S., & Radičević, T. (2009). Uticaj masnih kiselina u hrani na sastav masnih kiselina i količinu holesterola kod kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*). *Scientific Journal "Meat Technology"*, 50(3-4), 179-188.
244. Stanković, B. M. (2013). Uticaj smeša koncentrata sa različitim učešćem proteina i masti na prirast i konverziju hrane u ishrani mlađi šarana (*Cyprinus carpio*, L., 1758). Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu. Poljoprivredni fakultet. Beograd. <http://phaidrdbg.bg.ac.rs/o:7169>
245. Stickney, R. R., & Treece, G. D. 2012. History of Aquaculture. V: Aquaculture Production Systems. Tidwell J.H. (ed.). Iowa, World Aquaculture Society: 15–50. <https://doi.org/10.1002/9781118250105>
246. Storebakken, T., Foss, P., Schiedt, K., Austreng, E., Liaaen-Jensen, S., & Manz, U. (1987). Carotenoids in diets for salmonids. *Aquaculture*, 65(3–4), 279–292. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90241-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90241-9)
247. Strømsheim, A., Eide, D., Hofgaard, P., Larsen, H., Refstie, T., & Røed, K. (1994). Genetic variation in the humoral immune response against *Vibrio salmonicida* and in antibody titre against *Vibrio anguillarum* and total IgM in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 44(1), 85–95. [https://doi.org/10.1016/0165-2427\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0165-2427(94)90171-6)
248. Su, G., Liljedahl, L., & Gall, G. A. (2002). Genetic correlations between body weight at different ages and with reproductive traits in rainbow trout. *Aquaculture*, 213(1–4), 85–94. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00809-2](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00809-2)
249. Su, G.-S., Liljedahl, L.-E., Gall, G. A. E., 1996. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 142, 139 – 148.
250. Taranger, G. L., Carrillo, M., Schulz, R. W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F., Dufour, S., Karlson, Ø., Norberg, B., Andersson, E., & Hansen, T. (2009). Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 483–515. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.004>
251. Tave, D. (1993). Growth of Triploid and Diploid Bighead Carp, *Hypophthalmichthys nobilis*. *Journal of Applied Aquaculture*, 2(2), 13–26. https://doi.org/10.1300/j028v02n02_02
252. Tave, D. (1993). Genetics for fish hatchery managers. Springer, 436.

- 253.** Teletchea, F., & Fontaine, P. (2012). Levels of domestication in fish: implications for the sustainable future of aquaculture. *Fish and Fisheries*, 15(2), 181–195. <https://doi.org/10.1111/faf.12006>
- 254.** Thodesen, J., Grisdale-Helland, B., Helland, S. J., & Gjerde, B. (1999). Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 180(3–4), 237–246. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(99\)00204-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(99)00204-5)
- 255.** Thodesen, J., Rye, M., Wang, Y., Li, S., Bentsen, H. B., & Gjedrem, T. (2013). Genetic improvement of tilapias in China: Genetic parameters and selection responses in growth, pond survival and cold-water tolerance of blue tilapia (*Oreochromis aureus*) after four generations of multi-trait selection. *Aquaculture*, 396–399, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.010>
- 256.** Thodesen, J., Rye, M., Wang, Y., Yang, K., Bentsen, H. B., & Gjedrem, T. (2011). Genetic improvement of tilapias in China: Genetic parameters and selection responses in growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after six generations of multi-trait selection for growth and fillet yield. *Aquaculture*, 322–323, 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.10.010>
- 257.** Thorland, I., Thodesen, J., Refstie, T., Folkedal, O., Stien, L. H., Nilsson, J., Seim, R. R., Kristiansen, T. S., & Rye, M. (2019). Genetic variation in growth pattern within a population of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during a standard production cycle. *Aquaculture*, 518, 734735. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734735>
- 258.** Tikeogly N., 2000. *Ic Su Balıklari Yetistiriciligi*, Cukurova Universitesi Su Urunleri Fakultesi Ders Kitabi, 2, Adana, Turkey.
- 259.** Timmerhaus, G., Lazado, C. C., Cabillon, N. a. R., Reiten, B. K. M., & Johansen, L. (2020). The optimum velocity for Atlantic salmon post-smolts in RAS is a compromise between muscle growth and fish welfare. *Aquaculture*, 532, 736076. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736076>
- 260.** Tsai, H. Y., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Bishop, S. C., & Houston, R. D. (2015). The genetic architecture of growth and fillet traits in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BMC Genetics*, 16(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0215-y>
- 261.** Tsai, H., Hamilton, A., Tinch, A. E., Guy, D. R., Gharbi, K., Stear, M. J., Matika, O., Bishop, S. C., & Houston, R. D. (2015). Genome wide association and genomic prediction for growth traits in juvenile farmed Atlantic salmon using a high density SNP array. *BMC Genomics*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2117-9>
- 262.** Van Sang, N., Klemetsdal, G., Ødegård, J., & Gjøen, H. M. (2012). Genetic parameters of economically important traits recorded at a given age in striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture*, 344–349, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.013>
- 263.** Van Sang, N., Thomassen, M., Klemetsdal, G., & Gjøen, H. M. (2008). Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture*, 288(3–4), 166–71. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.11.030>
- 264.** Vandeputte, M., Bugeon, J., Bestin, A., Desgranges, A., Allamellou, J., Tyran, A., Allal, F., Dupont-Nivet, M., & Haffray, P. (2019). First Evidence of Realized Selection Response on Fillet Yield in Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*, Using Sib Selection or Based on Correlated

- Ultrasound Measurements. *Frontiers in Genetics*, 10, 1225. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01225>
- 265.** Vandeputte, M., Corraze, G., Doerflinger, J., Enez, F., Clota, F., Terrier, F., Horat, M., Larroquet, L., Petit, V., Haffray, P., Skiba-Cassy, S., & Dupont-Nivet, M. (2022). Realised genetic gains on growth, survival, feed conversion ratio and quality traits after ten generations of multi-trait selection in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, fed a standard diet or a “future” fish-free and soy-free diet. *Aquaculture Reports*, 27, 101363. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101363>
- 266.** Vandeputte, M., Quillet, E., & Chevassus, B. (2002). Early development and survival in brown trout (*Salmo trutta fario* L.): indirect effects of selection for growth rate and estimation of genetic parameters. *Aquaculture*, 204(3–4), 435–445. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00829-8](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00829-8)
- 267.** Váradi, L., Lane, A., Harache, Y., Gyalog, G., Békefi, E. & Lengyel P. (2011). Regional Review on Status and Trends in Aquaculture Development in Europe — 2010. FAO Fisheries and Aquaculture Circular 1061/1, FAO, 257. www.fao.org
- 268.** Visscher, P. M., Hill, W. G., & Wray, N. R. (2008). Heritability in the genomics era — concepts and misconceptions. *Nature Reviews Genetics*, 9(4), 255–266. <https://doi.org/10.1038/nrg2322>
- 269.** Vladau, V., Bud, I., & Stefan, R. (2008). NUTRITIVE VALUE OF FISH MEAT COMPARATIVE TO SOME ANIMALS MEAT. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Animal Science and Biotechnologies*, 65, 301–305. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:65:1-2:1070>
- 270.** Von Snacky, C. (2001). Clinical trials, not n-6 to n-3 ratios, will resolve whether fatty acids prevent coronary heart disease. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103, 423–427. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200106\)103:6%3C423::AID-EJLT423%3E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200106)103:6%3C423::AID-EJLT423%3E3.0.CO;2-F)
- 271.** Waldrop, T., Summerfelt, S., Mazik, P., & Good, C. (2017). The effects of swimming exercise and dissolved oxygen on growth performance, fin condition and precocious maturation of early-rearing Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Research*, 49(2), 801–808. <https://doi.org/10.1111/are.13511>
- 272.** Wang, C. (2009). Quantitative genetic estimates of growth-related traits in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): A review. *Frontiers of Biology in China*, 4(3), 298–304. <https://doi.org/10.1007/s11515-009-0031-8>
- 273.** Wang, S., Hard, J. J., & Utter, F. (2002). Genetic variation and fitness in salmonids. *Conservation Genetics*, 3(3), 321–333. <https://doi.org/10.1023/a:1019925910992>
- 274.** Waters, C. D., Hard, J. J., Fast, D. E., Knudsen, C. M., Bosch, W. J., & Naish, K. A. (2020). Genomic and phenotypic effects of inbreeding across two different hatchery management regimes in Chinook salmon. *Molecular Ecology*, 29(4), 658–672. <https://doi.org/10.1111/mec.15356>
- 275.** Wedemeyer, G. A. (1996). Physiology of fish in intensive culture systems. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6011-1>

276. Woolliams, J., Berg, P., Dagnachew, B., & Meuwissen, T. (2015). Genetic contributions and their optimization. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 132(2), 89–99. <https://doi.org/10.1111/jbg.12148>
277. Woyanovich, A., Hoitsy, G., & Moth-Poulsen, T. (2011). Small-scale rainbow trout farming. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:133903503>
278. Yamamoto, T. (2004). Sex-specific growth pattern during early life history in masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Ecology of Freshwater Fish*, 13(3), 203–207. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2004.00051.x>
279. Yamamoto, T., Murashita, K., Matsunari, H., Oku, H., Furuita, H., Okamoto, H., Amano, S., & Suzuki, N. (2014). Selectively bred juvenile F2 amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* fed a low fishmeal diet exhibit growth comparable to unselected juveniles fed a fishmeal-based diet. *Fisheries Science*, 81(1), 83–93. <https://doi.org/10.1007/s12562-014-0817-8>
280. Yáñez, J. M., Barría, A., López, M. E., Moen, T., Garcia, B. F., Yoshida, G. M., & Xu, P. (2022). Genome-wide association and genomic selection in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 645–675. <https://doi.org/10.1111/raq.12750>
281. Yáñez, J. M., Houston, R. D., & Newman, S. (2014). Genetics and genomics of disease resistance in salmonid species. *Frontiers in Genetics*, 5, 415. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00415>
282. Yáñez, J. M., Newman, S., & Houston, R. D. (2015). Genomics in aquaculture to better understand species biology and accelerate genetic progress. *Frontiers in Genetics*, 6, 128. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00128>
283. Yano, A., Nicol, B., Jouanno, E., Quillet, E., Fostier, A., Guyomard, R., & Guiguen, Y. (2013). The sexually dimorphic on the Y-chromosome gene (sdY) is a conserved male-specific Y-chromosome sequence in many salmonids. *Evolutionary Applications*, 6(3), 486–496. <https://doi.org/10.1111/eva.12032>
284. Yao, W., Liu, H., Chen, Y., Zhang, W., Zhong, Y., Fan, H., Li, L., & Bamal, S. (2017). Simulating Spawning and Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Habitat in Colorado River Based on High-Flow Effects. *Water*, 9(2), 150. <https://doi.org/10.3390/w9020150>
285. Yoshida, G. M., Yáñez, J. M., De Oliveira, C. a. L., Ribeiro, R. P., Lhorente, J. P., De Queiroz, S. A., & Carvalheiro, R. (2018). Mate selection allows changing the genetic variability of the progeny while optimizing genetic response and controlling inbreeding. *Aquaculture*, 495, 409–414. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.011>
286. Young, K. A. (2005). Life–history variation and allometry for sexual size dimorphism in Pacific salmon and trout. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 272(1559), 167–172. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2931>
287. Zollinger, W. A., & Nielsen, M. K. (1984). An evaluation of bias in estimated breeding values for weaning weight in August Beef cattle Field records. II. Estimates of bias due to genetic trend. *Journal of Animal Science*, 58(3), 550–555. <https://doi.org/10.2527/jas1984.583550x>

8. PRILOZI

Tabela 1. Prikaz broja riba i familija na čipovanju za svaku godinu selekcije

| Generacija | Godina selekcije | Broj riba | Broj familija |
|------------|------------------|-------------|---------------|
| F1 | 2011 | 1008 | 22 |
| F1 | 2012 | 1110 | 26 |
| F1 | 2013 | 362 | 11 |
| F1 | Ukupno | 2480 | 59 |
| F2 | 2014 | 1648 | 47 |
| F2 | 2015 | 1137 | 41 |
| F2 | 2016 | 1300 | 45 |
| F2 | Ukupno | 4085 | 133 |
| F3 | 2017 | 1200 | 46 |
| F3 | 2018 | 1794 | 41 |
| F3 | 2019 | 236 | 12 |
| F3 | Ukupno | 3230 | 99 |
| F4 | 2020 | 1289 | 43 |
| F4 | Ukupno | 1289 | 43 |

Tabela 2. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2011

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1007 | 8,77 | 1,76 | 23,89 | 19,99 | 4,47 | 50,98 |
| | D | | 87,07 | 53,00 | 126,00 | 209,66 | 14,47 | 16,62 |
| 12 | TM | 536 | 84,06 | 19,00 | 252,50 | 1680,86 | 40,99 | 48,77 |
| | D | | 201,63 | 129,60 | 297,60 | 940,34 | 30,66 | 15,20 |
| 24 | TM | 372 | 599,53 | 323,25 | 932,80 | 6894,91 | 83,03 | 13,84 |
| | D | | 373,26 | 290 | 484,00 | 452,60 | 21,27 | 5,69 |
| 36 | TM | 324 | 1128,52 | 500,00 | 2020,00 | 63362,56 | 251,71 | 22,30 |
| | D | | 456,35 | 350,00 | 570,00 | 1099,39 | 33,15 | 7,26 |
| 48 | TM | 37 | 1530,68 | 970,00 | 2380,00 | 107346,06 | 327,63 | 21,40 |
| | D | | 511,89 | 450,00 | 600,00 | 1143,54 | 33,81 | 6,60 |

Skraćenice: **N** – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 3. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2012

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1111 | 5,64 | 1,97 | 11,77 | 2,35 | 1,53 | 27,17 |
| | D | | 77,67 | 50,00 | 100,00 | 47,22 | 6,87 | 8,84 |
| 12 | TM | 445 | 83,46 | 39,10 | 173,01 | 458,98 | 21,42 | 25,66 |
| | D | | 194,16 | 152,50 | 250,00 | 239,20 | 15,46 | 7,96 |
| 24 | TM | 225 | 447,24 | 270,00 | 1445,00 | 33770,05 | 183,76 | 41,08 |
| | D | | 339,54 | 270,00 | 510,00 | 1509,59 | 38,85 | 11,44 |
| 36 | TM | 93 | 973,01 | 635,00 | 1960,00 | 34272,36 | 185,12 | 19,02 |
| | D | | 432,36 | 390,00 | 540,00 | 685,10 | 26,17 | 6,05 |
| 48 | TM | 94 | 1425,32 | 930,00 | 2155,00 | 80921,94 | 284,46 | 19,95 |
| | D | | 478,45 | 400,00 | 550,00 | 970,44 | 31,15 | 6,51 |

Skraćenice: **N** – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 4. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2013

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|-----|-----------|--------|--------|----------------|-------|--------|
| 5 | TM | 362 | 9,53 | 2,00 | 38,50 | 42,16 | 6,49 | 68,09 |
| | D | | 90,85 | 55,00 | 160,00 | 292,14 | 17,09 | 18,81 |
| 12 | TM | 283 | 89,27 | 15,70 | 225,16 | 1091,21 | 33,03 | 36,99 |
| | D | | 195,39 | 102,00 | 265,00 | 714,83 | 26,73 | 13,68 |
| 24 | TM | 113 | 525,79 | 360,00 | 995,00 | 6626,59 | 81,40 | 15,48 |
| | D | | 355,08 | 300,00 | 420,00 | 312,49 | 17,67 | 4,97 |

| | | | | | | | | |
|----|----|----|---------|--------|---------|----------|--------|-------|
| 36 | TM | 94 | 1097,34 | 710,00 | 1460,00 | 29621,35 | 172,10 | 15,68 |
| | D | | 433,03 | 360,00 | 490,00 | 558,18 | 23,62 | 5,45 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 5. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2014

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1648 | 6,87 | 1,80 | 26,10 | 5,87 | 2,42 | 35,27 |
| | D | | 99,92 | 70,00 | 145,00 | 111,09 | 10,54 | 10,54 |
| 12 | TM | 1100 | 109,02 | 15,00 | 230,00 | 1624,03 | 40,29 | 36,96 |
| | D | | 211,93 | 115,00 | 270,00 | 839,73 | 28,97 | 13,67 |
| 24 | TM | 693 | 627,48 | 310,00 | 1015,00 | 19730,03 | 140,46 | 22,38 |
| | D | | 386,79 | 300,00 | 470,00 | 772,38 | 27,79 | 7,18 |
| 36 | TM | 35 | 976,14 | 680,00 | 1460,0 | 32404,54 | 180,01 | 18,44 |
| | D | | 454,00 | 410,00 | 530,00 | 624,70 | 24,99 | 5,50 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 6. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2015

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1137 | 7,79 | 2,70 | 15,60 | 3,62 | 1,90 | 24,43 |
| | D | | 85,65 | 65,00 | 106,00 | 42,96 | 6,55 | 7,65 |
| 12 | TM | 995 | 90,87 | 20,00 | 230,00 | 524,53 | 22,90 | 25,20 |
| | D | | 204,35 | 150,00 | 280,00 | 280,28 | 16,74 | 8,19 |
| 24 | TM | 314 | 631,70 | 295,00 | 975,00 | 15453,44 | 124,31 | 19,67 |
| | D | | 364,55 | 280,00 | 425,00 | 528,06 | 24,12 | 6,61 |

| | | | | | | | | |
|----|----|-----|--------|--------|---------|----------|--------|-------|
| 36 | TM | 402 | 871,59 | 610,00 | 1300,00 | 19403,19 | 139,29 | 15,98 |
| | D | | 424,88 | 370,00 | 490,00 | 451,54 | 21,24 | 5,00 |

Skraćenice: N - broj jedinki; \bar{X} - prosečna vrednost; **Min** - minimalna vrednost; **Max** - maksimalna vrednost; **S²** - variansa, **Sd** - standardna devijacija; **Cv (%)** - koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa meseci starosti (g); **DT5:** dužina tela sa meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **DT12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **DT24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **DT36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **DT48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 7. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2016

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1300 | 8,91 | 3,18 | 25,43 | 6,53 | 2,55 | 28,66 |
| | D | | 91,33 | 64,00 | 125,00 | 61,10 | 7,81 | 8,55 |
| 12 | TM | 601 | 237,12 | 50,00 | 395,00 | 3400,54 | 58,31 | 24,59 |
| | D | | 272,77 | 160,00 | 325,00 | 555,70 | 23,57 | 8,64 |
| 36 | TM | 248 | 1544,17 | 645,00 | 2500,00 | 92122,69 | 303,51 | 19,65 |
| | D | | 463,18 | 350,00 | 540,00 | 859,85 | 29,32 | 6,33 |
| 48 | TM | 176 | 1933,30 | 750,00 | 3120,00 | 235606,22 | 485,39 | 25,10 |
| | D | | 523,06 | 420,00 | 620,00 | 1876,25 | 43,31 | 8,28 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 8. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2017

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1200 | 13,32 | 4,10 | 32,10 | 12,94 | 3,59 | 27,00 |
| | D | | 102,77 | 70,00 | 135,00 | 77,58 | 8,80 | 8,57 |
| 24 | TM | 390 | 985,05 | 465,00 | 1660,00 | 22992,03 | 151,63 | 15,39 |
| | D | | 427,41 | 310,00 | 500,00 | 466,41 | 21,59 | 5,05 |
| 36 | TM | 341 | 1473,55 | 830,00 | 2165,00 | 61508,70 | 248,00 | 16,83 |
| | D | | 486,01 | 410,00 | 580,00 | 862,87 | 29,37 | 6,04 |

| | | | | | | | | |
|----|----|-----|---------|---------|---------|-----------|--------|-------|
| 48 | TM | 204 | 1967,97 | 1180,00 | 2950,00 | 139379,71 | 373,33 | 18,97 |
| | D | | 530,98 | 440,00 | 650,00 | 1192,14 | 34,52 | 6,50 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 9. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2018

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|------|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 1794 | 7,46 | 2,00 | 19,20 | 3,52 | 1,87 | 25,13 |
| | D | | 84,69 | 50,00 | 116,00 | 55,84 | 7,47 | 8,82 |
| 12 | TM | 1288 | 304,27 | 50,00 | 485,00 | 2735,96 | 52,30 | 17,19 |
| | D | | 301,89 | 170,00 | 355,00 | 375,04 | 19,36 | 6,41 |
| 24 | TM | 1102 | 550,61 | 280,00 | 845,00 | 7511,40 | 86,66 | 15,74 |
| | D | | 360,21 | 290,00 | 420,00 | 382,87 | 19,56 | 5,43 |
| 36 | TM | 319 | 1565,71 | 760,00 | 2770,00 | 106712,47 | 326,66 | 20,86 |
| | D | | 490,11 | 390,00 | 600,00 | 1327,36 | 36,43 | 7,43 |

Skraćenice: N – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 10. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2019

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | N | \bar{X} | Min | Max | S ² | Sd | Cv (%) |
|-------------------------|---------|-----|-----------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| 5 | TM | 236 | 11,76 | 3,40 | 24,40 | 14,67 | 3,83 | 32,57 |
| | D | | 99,20 | 63,00 | 125,00 | 126,29 | 11,23 | 11,32 |
| 12 | TM | 125 | 295,57 | 103,00 | 513,00 | 7500,60 | 86,60 | 29,30 |
| | D | | 279,36 | 190,00 | 340,00 | 662,49 | 25,73 | 9,21 |
| 36 | TM | 31 | 1540,16 | 845,00 | 2370,00 | 158749,14 | 398,43 | 25,86 |
| | D | | 475,48 | 390,00 | 570,00 | 2145,59 | 46,32 | 9,74 |

Skraćenice: **N** – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 11. Pokazatelji fenotipske ispoljenosti i varijabilnosti osobina telesne mase i dužine tela jedinki kalifornijske pastrmke selekcija 2020

| Starost jedinki (mesec) | Osobine | <i>N</i> | \bar{X} | <i>Min</i> | <i>Max</i> | <i>S²</i> | <i>Sd</i> | <i>Cv (%)</i> |
|-------------------------|---------|----------|-----------|------------|------------|----------------------|-----------|---------------|
| 5 | TM | 1289 | 6,49 | 2,60 | 18,63 | 3,50 | 1,87 | 28,81 |
| | D | | 84,49 | 55,00 | 127,00 | 67,10 | 8,19 | 9,69 |
| 12 | TM | 999 | 414,68 | 107,20 | 649,90 | 4504 | 67,11 | 16,18 |
| | D | | 409,55 | 229,50 | 479,25 | 669,88 | 25,88 | 6,31 |
| 24 | TM | 814 | 558,04 | 280,00 | 1010,00 | 10922,02 | 104,50 | 18,72 |
| | D | | 365,10 | 280,00 | 440,00 | 479,26 | 21,89 | 5,99 |
| 36 | TM | 768 | 881,43 | 455,00 | 1620,00 | 27221,54 | 164,98 | 18,71 |
| | D | | 413,13 | 320,00 | 610,00 | 822,41 | 28,67 | 6,94 |
| 48 | TM | 253 | 2184,71 | 1060,00 | 3800,00 | 310730,99 | 557,43 | 25,51 |
| | D | | 522,88 | 410,00 | 630,00 | 2019,02 | 44,93 | 8,59 |

Skraćenice: **N** – broj jedinki; \bar{X} – prosečna vrednost; **Min** – minimalna vrednost; **Max** – maksimalna vrednost; **S²** – variansa, **Sd** – standardna devijacija; **Cv (%)** – koeficijent varijacije; **TM5:** telesna masa sa 5 meseci starosti (g); **D5:** dužina tela sa 5 meseci starosti (mm); **TM12:** telesna masa sa 12 meseci starosti (g); **D12:** dužina tela sa 12 meseci starosti (mm); **TM24:** telesna masa sa 24 meseca starosti (g); **D24:** dužina tela sa 24 meseca starosti (mm); **TM36:** telesna masa sa 36 meseci starosti (g); **D36:** dužina tela sa 36 meseci starosti (mm); **TM48:** telesna masa sa 48 meseci starosti (g); **D48:** dužina tela sa 48 meseci starosti (mm).

Tabela 12. Pouzdanost priplodnih vrednosti za osobine telesne mase i dužine tela kalifornijske pastrmke

| Osobine | <i>N</i> | \bar{X} | <i>Min</i> | <i>Max</i> |
|---------|----------|-----------|------------|------------|
| TM | 11592 | 0,72 | 0,39 | 0,84 |
| D | | 0,81 | 0,46 | 0,88 |
| TM | 6810 | 0,64 | 0,34 | 0,84 |
| D | | 0,64 | 0,35 | 0,83 |
| TM | 4492 | 0,82 | 0,55 | 0,93 |
| D | | 0,83 | 0,55 | 0,93 |

| | | | | |
|-----------|------|------|------|------|
| TM | | 0,72 | 0,41 | 0,88 |
| D | 3119 | 0,77 | 0,44 | 0,90 |
| TM | | 0,54 | 0,21 | 0,69 |
| D | 1111 | 0,52 | 0,20 | 0,68 |

Skraćenice: **N** – broj jedinki; \bar{X} – prosečna pouzdanost priplodnih vrednosti; **Min** – minimalna pouzdanosti priplodnih vrednosti; **Max** – maksimalna pouzdanosti priplodnih vrednosti; **TM5**: telesna masa sa 5 meseci starosti; **D5**: dužina tela sa 5 meseci starosti; **TM12**: telesna masa sa 12 meseci starosti; **D12**: dužina tela sa 12 meseci starosti; **TM24**: telesna masa sa 24 meseca starosti; **D24**: dužina tela sa 24 meseca starosti; **TM36**: telesna masa sa 36 meseci starosti; **D36**: dužina tela sa 36 meseci starosti; **TM48**: telesna masa sa 48 meseci starosti; **D48**: dužina tela sa 48 meseci starosti.

Deo output-a iz WOMBAT programa: Procena varijansi i heritabiliteta

=====
Version 26-02-2021
=====
*****KM*****

Program WOMBAT: Estimates of covariance components
=====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type : "UNI"
Data file : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file : "wombat.par"

No. of traits = 1 TM5
No. of records = 11084 11084
No. of parameters = 3
Maximum log L = -14582.804
-1/2 AIC & AICC = -14585.804 -14585.805
-1/2 BIC = -14596.772 "Penalty factor" = 4.656

Operational zero used = 0.00000001000
Value for "small" = 0.00010000000
Limit: "small" pivots = 0.00100000000

Eigenvalues of AI matrix
7682.37 103.294 19.7764

Parameter estimates with approx. sampling errors
1 CHOL Z 1 1 0.470891 0.773514E-01
2 CHOL A 1 1 2.10519 0.205739
3 CHOL B 1 1 1.90687 0.109840

Convergence criteria for last 3 iterates
Change in log likelihood = 0.291396 0.005982 0.000293
Change in parameter vector = 0.023315 0.006955 0.002195
Norm of gradient vector = 60.0988 7.1377 0.5253
Newton decrement = -0.6134 -0.0146 -0.0008

***** Estimates of residual covariances *****

Order of fit = 1
Covariance matrix
1 2.5645
Matrix of correlations and variance ratios
1 0.2412
Covariances & correlations with approximate sampling errors
1 COVS Z 1 1 2.56455 0.396742 vrat 0.241 0.045

***** Estimates for RE 1 "ID" *****
No. of levels = 11591
Covariance structure = NRM
Order of fit = 1

```

Covariance matrix
1      4.4318
Matrix of correlations and variance ratios
1      0.4168
Covariances & correlations with approximate sampling errors
2 COVS A 1 1      4.43182      0.866239      vrat      0.417      0.071

***** Estimates for RE 2  "PEMxT" *****
No. of levels      =      331
Covariance structure = IDE
Order of fit      =      1
Covariance matrix
1      3.6361
Matrix of correlations and variance ratios
1      0.3420
Covariances & correlations with approximate sampling errors
3 COVS B 1 1      3.63614      0.418900      vrat      0.342      0.035

***** Estimates of phenotypic covariances *****
Covariance matrix
1      10.633
Covariances & correlations with approximate sampling errors
4 COVS T 1 1      10.6325      0.495871

```

==== end of file =====08-04-2026=====18:22=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Summary of Pedigree Information and related

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

```

Analysis type      : "UNI"
Data file         : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file     : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file    : "wombat.par"

```

```

No. of animal IDs in pedigree file      =      11609
No. of add. animal IDs in data file     =      1
No. of animal IDs in total              =      11610

```

```

*****Pedigree Structure for random effect : 1 *****
Original no. of animals      =      11610
No. of animals after pruning =      11591
... proportion (%) remaining =      99.8

No. of levels w/out records   =      507
No. of levels with records   =      11084  100.0%
... 1 record(s)              =      11084  100.0%

No. of animals w/out offspring =      11084  95.6%
No. of animals with offspring =      507    4.4%
... and records              =      0      0.0%

No. of animals with unknown sire      =      47
No. of animals with unknown dam       =      46
No. of animals with both parents unknown =      46
No. of animals with records           =
... and unknown sire                  =      1
... and unknown dam                   =      1
... and both parents unknown          =      1
No. of sires                          =      256
... with progeny in the data          =      251
... with records & progeny in data     =      0
No. of dams                           =      251
... with progeny in the data          =      245
... with records & progeny in data     =      0

```

```

No. of animals with known/unpruned grand-parents
... with paternal grandsire      = 10627
... with paternal granddam       = 10802
... with maternal grandsire      = 10749
... with maternal granddam       = 10749
Random effect no.                 = 1 "ID" NRM
No. of levels                     = 11591
Log determinant calculated        = -9098.99
No. of elements in NRM inverse   = 35028

```

==== end of file =====08-04-2026=====18:22=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Estimates of covariance components

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

```

Analysis type      : "UNI"
Data file         : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file     : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file    : "wombat.par"

No. of traits     = 1 D5
No. of records    = 11084 11084
No. of parameters = 3
Maximum log L     = -27928.311
-1/2 AIC & AICC  = -27931.311 -27931.312
-1/2 BIC          = -27942.279 "Penalty factor" = 4.656

```

```

Operational zero used = 0.00000001000
Value for "small"    = 0.00010000000
Limit: "small" pivots = 0.00100000000

```

```

Eigenvalues of AI matrix
291.354 269.868 1.09752

```

```

Parameter estimates with approx. sampling errors
1 CHOL Z 1 1 4.36138 0.631803
2 CHOL A 1 1 8.41061 0.717491
3 CHOL B 1 1 1.69425 0.656697E-01

```

```

Convergence criteria for last 3 iterates
Change in log likelihood = 2.557993 0.001420 0.000005
Change in parameter vector = 0.035262 0.003176 0.000224
Norm of gradient vector = 38.9057 0.6787 0.0345
Newton decrement = -5.0563 -0.0027 -0.0000

```

***** Estimates of residual covariances *****

```

Order of fit = 1
Covariance matrix
1 19.022
Matrix of correlations and variance ratios
1 0.1593
Covariances & correlations with approximate sampling errors
1 COVS Z 1 1 19.0216 5.51106 vrat 0.159 0.053

```

***** Estimates for RE 1 "ID" *****

```

No. of levels = 11591
Covariance structure = NRM
Order of fit = 1
Covariance matrix
1 70.738
Matrix of correlations and variance ratios
1 0.5925
Covariances & correlations with approximate sampling errors

```

```

2 COVS A 1 1          70.7383          12.0691          vrat          0.593          0.079

***** Estimates for RE 2  "PEMxT"  *****
No. of levels          =          331
Covariance structure  = IDE
Order of fit           =          1
Covariance matrix
1          29.621
Matrix of correlations and variance ratios
1          0.2481
Covariances & correlations with approximate sampling errors
3 COVS B 1 1          29.6214          3.89046          vrat          0.248          0.033

***** Estimates of phenotypic covariances *****
Covariance matrix
1          119.38
Covariances & correlations with approximate sampling errors
4 COVS T 1 1          119.381          6.09545

===== end of file =====08-04-2026=====18:23=====

===== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Summary of Pedigree Information and related
=====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type          :  "UNI"
Data file              :  "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file         :  "ReducedPedFile.dat"
Parameter file        :  "wombat.par"

No. of animal IDs in pedigree file          =          11609
No. of add. animal IDs in data file         =              1
No. of animal IDs in total                  =          11610

*****Pedigree Structure for random effect :  1 *****
Original no. of animals                      =          11610
No. of animals after pruning                 =          11591
... proportion (%) remaining                 =           99.8

No. of levels w/out records                  =           507
No. of levels with records                   =          11084  100.0%
... 1 record(s)                             =          11084  100.0%

No. of animals w/out offspring              =          11084   95.6%
No. of animals with offspring                =           507    4.4%
... and records                             =              0    0.0%

No. of animals with unknown sire            =           47
No. of animals with unknown dam             =           46
No. of animals with both parents unknown    =           46
No. of animals with records                 =
... and unknown sire                        =            1
... and unknown dam                         =            1
... and both parents unknown                 =            1
No. of sires                                =           256
... with progeny in the data                 =           251
... with records & progeny in data           =            0
No. of dams                                  =           251
... with progeny in the data                 =           245
... with records & progeny in data           =            0

No. of animals with known/unpruned grand-parents
... with paternal grandsire                  =          10627
... with paternal granddam                   =          10802
... with maternal grandsire                  =          10749

```

```

... with maternal granddam          =      10749
Random effect no.                    =              1 "ID" NRM
No. of levels                         =      11591
Log determinant calculated            =    -9098.99
No. of elements in NRM inverse       =      35028

```

==== end of file =====08-04-2026=====18:23=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Estimates of covariance components

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

```

Analysis type      : "UNI"
Data file         : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file     : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file    : "wombat.par"

No. of traits     =      1              TM12
No. of records    =    6372            6372
No. of parameters =      3
Maximum log L     =    -27308.850
-1/2 AIC & AICC  =    -27311.850      -27311.852
-1/2 BIC          =    -27321.987      "Penalty factor" =  4.379

Operational zero used =  0.00000001000
Value for "small"    =  0.00010000000
Limit: "small" pivots =  0.00100000000

```

```

Eigenvalues of AI matrix
6.26263      0.609501      0.612131E-01

```

```

Parameter estimates with approx. sampling errors
1  CHOL Z 1 1      39.1912      1.13534
2  CHOL A 1 1     -23.9472      3.76958
3  CHOL B 1 1     17.6169      1.62419

```

```

Convergence criteria for last 3 iterates
Change in log likelihood =  0.582509      0.004982      0.000005
Change in parameter vector =  0.036590      0.003640      0.000090
Norm of gradient vector =  0.9672      0.1207      0.0031
Newton decrement        =  -1.1083      -0.0097      -0.0000

```

```

***** Estimates of residual covariances *****
Order of fit = 1
Covariance matrix
1  1535.9
Matrix of correlations and variance ratios
1  0.6347
Covariances & correlations with approximate sampling errors
1  COVS Z 1 1      1535.95      88.9910      vrat      0.635      0.053

```

```

***** Estimates for RE 1 "ID" *****
No. of levels = 6809
Covariance structure = NRM
Order of fit = 1
Covariance matrix
1  573.47
Matrix of correlations and variance ratios
1  0.2370
Covariances & correlations with approximate sampling errors
2  COVS A 1 1      573.468      180.542      vrat      0.237      0.069

```

```

***** Estimates for RE 2 "PEMxT" *****
No. of levels = 282
Covariance structure = IDE

```

```

Order of fit          =          1
Covariance matrix
1      310.36
Matrix of correlations and variance ratios
1      0.1283
Covariances & correlations with approximate sampling errors
3 COVS B 1 1          310.356          57.2264          vrat          0.128          0.024

***** Estimates of phenotypic covariances *****
Covariance matrix
1      2419.8
Covariances & correlations with approximate sampling errors
4 COVS T 1 1          2419.77          85.1257

===== end of file =====08-04-2026=====18:24=====

===== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Summary of Pedigree Information and related
=====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type          :    "UNI"
Data file              :    "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file         :    "ReducedPedFile.dat"
Parameter file        :    "wombat.par"

No. of animal IDs in pedigree file          =          6829
No. of add. animal IDs in data file         =           1
No. of animal IDs in total                  =          6830

*****Pedigree Structure for random effect :    1 *****
Original no. of animals                      =          6830
No. of animals after pruning                 =          6809
... proportion (%) remaining                 =          99.7

No. of levels w/out records                  =           437
No. of levels with records                   =          6372  100.0%
... 1 record(s)                             =          6372  100.0%

No. of animals w/out offspring               =          6372   93.6%
No. of animals with offspring                =           437    6.4%
... and records                              =           0    0.0%

No. of animals with unknown sire             =           45
No. of animals with unknown dam             =           44
No. of animals with both parents unknown    =           43
No. of animals with records                 =
... and unknown sire                        =           2
... and unknown dam                         =           1
... and both parents unknown                =           1
No. of sires                                =          222
... with progeny in the data                 =          205
... with records & progeny in data           =           0
No. of dams                                  =          215
... with progeny in the data                 =          198
... with records & progeny in data           =           0

No. of animals with known/unpruned grand-parents
... with paternal grandsire                  =          6170
... with paternal granddam                   =          6274
... with maternal grandsire                  =          6247
... with maternal granddam                   =          6221
Random effect no.                            =           1   "ID"   NRM
No. of levels                                =          6809
Log determinant calculated                    = -5295.14
No. of elements in NRM inverse                =          20645

```

==== end of file =====08-04-2026=====18:24=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Estimates of covariance components

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type : "UNI"
 Data file : "RibeDr4Pol3.DAT"
 Pedigree file : "ReducedPedFile.dat"
 Parameter file : "wombat.par"

No. of traits = 1 D12
 No. of records = 6372 6372
 No. of parameters = 3
 Maximum log L = -22511.312
 -1/2 AIC & AICC = -22514.312 -22514.314
 -1/2 BIC = -22524.449 "Penalty factor" = 4.379

Operational zero used = 0.00000001000
 Value for "small" = 0.00010000000
 Limit: "small" pivots = 0.00100000000

Eigenvalues of AI matrix

25.4642 1.91487 0.243394

Parameter estimates with approx. sampling errors

1 CHOL Z 1 1 -18.0795 0.669951
 2 CHOL A 1 1 -13.3289 1.87945
 3 CHOL B 1 1 -11.2316 0.829989

Convergence criteria for last 3 iterates

Change in log likelihood = 202.696752 56.380823 2.509917
 Change in parameter vector = 2.393753 0.209815 0.253859
 Norm of gradient vector = 5.9150 19.8018 3.7854
 Newton decrement = -1768.9230 -82.8452 -12.5735

*** "WOMBAT" : Full convergence has not been achieved

Treat results with caution !!!

***** Estimates of residual covariances *****

Order of fit = 1

Covariance matrix

1 326.87

Matrix of correlations and variance ratios

1 0.5183

Covariances & correlations with approximate sampling errors

1 COVS Z 1 1 326.869 24.2248 vrat 0.518 0.054

***** Estimates for RE 1 "ID" *****

No. of levels = 6809

Covariance structure = NRM

Order of fit = 1

Covariance matrix

1 177.66

Matrix of correlations and variance ratios

1 0.2817

Covariances & correlations with approximate sampling errors

2 COVS A 1 1 177.660 50.1021 vrat 0.282 0.072

***** Estimates for RE 2 "PEMxT" *****

No. of levels = 282

Covariance structure = IDE

Order of fit = 1

Covariance matrix

1 126.15

Matrix of correlations and variance ratios

1 0.2000

Covariances & correlations with approximate sampling errors

3 COVS B 1 1 126.148 18.6441 vrat 0.200 0.029

***** Estimates of phenotypic covariances *****

Covariance matrix

1 630.68

Covariances & correlations with approximate sampling errors

4 COVS T 1 1 630.677 25.8271

==== end of file =====08-04-2026=====18:25=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Summary of Pedigree Information and related

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type : "UNI"
Data file : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file : "wombat.par"

No. of animal IDs in pedigree file = 6829

No. of add. animal IDs in data file = 1

No. of animal IDs in total = 6830

*****Pedigree Structure for random effect : 1 *****

Original no. of animals = 6830

No. of animals after pruning = 6809

... proportion (%) remaining = 99.7

No. of levels w/out records = 437

No. of levels with records = 6372 100.0%

... 1 record(s) = 6372 100.0%

No. of animals w/out offspring = 6372 93.6%

No. of animals with offspring = 437 6.4%

... and records = 0 0.0%

No. of animals with unknown sire = 45

No. of animals with unknown dam = 44

No. of animals with both parents unknown = 43

No. of animals with records =

... and unknown sire = 2

... and unknown dam = 1

... and both parents unknown = 1

No. of sires = 222

... with progeny in the data = 205

... with records & progeny in data = 0

No. of dams = 215

... with progeny in the data = 198

... with records & progeny in data = 0

No. of animals with known/unpruned grand-parents

... with paternal grandsire = 6170

... with paternal granddam = 6274

... with maternal grandsire = 6247

... with maternal granddam = 6221

Random effect no. = 1 "ID" NRM

No. of levels = 6809

Log determinant calculated = -5295.14

No. of elements in NRM inverse = 20645

==== end of file =====08-04-2026=====18:25=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Estimates of covariance components

=====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type : "UNI"
 Data file : "RibeDr4Pol3.DAT"
 Pedigree file : "ReducedPedFile.dat"
 Parameter file : "wombat.par"

No. of traits = 1 TM24
 No. of records = 4023 4023
 No. of parameters = 2
 Maximum log L = -20962.267
 -1/2 AIC & AICC = -20964.267 -20964.268
 -1/2 BIC = -20970.564 "Penalty factor" = 4.149

Operational zero used = 0.00000001000
 Value for "small" = 0.00010000000
 Limit: "small" pivots = 0.00100000000

Eigenvalues of AI matrix
 0.534263 0.181832E-01

Parameter estimates with approx. sampling errors

| | | | |
|---|------------|----------|---------|
| 1 | CHOL Z 1 1 | -82.7075 | 3.99236 |
| 2 | CHOL A 1 1 | -99.8707 | 6.39756 |

Convergence criteria for last 3 iterates

| | | | | |
|----------------------------|---|----------|----------|----------|
| Change in log likelihood | = | 3.225253 | 0.121297 | 0.000180 |
| Change in parameter vector | = | 0.106591 | 0.018895 | 0.000837 |
| Norm of gradient vector | = | 0.9311 | 0.2661 | 0.0090 |
| Newton decrement | = | -6.1346 | -0.2388 | -0.0004 |

***** Estimates of residual covariances *****

Order of fit = 1
 Covariance matrix
 1 6840.5
 Matrix of correlations and variance ratios
 1 0.4068
 Covariances & correlations with approximate sampling errors

| | | | | | | |
|---|------------|---------|---------|------|-------|-------|
| 1 | COVS Z 1 1 | 6840.54 | 660.396 | vrat | 0.407 | 0.053 |
|---|------------|---------|---------|------|-------|-------|

***** Estimates for RE 1 "ID" *****

No. of levels = 4491
 Covariance structure = NRM
 Order of fit = 1
 Covariance matrix
 1 9974.2
 Matrix of correlations and variance ratios
 1 0.5932
 Covariances & correlations with approximate sampling errors

| | | | | | | |
|---|------------|---------|---------|------|-------|-------|
| 2 | COVS A 1 1 | 9974.16 | 1277.86 | vrat | 0.593 | 0.053 |
|---|------------|---------|---------|------|-------|-------|

***** Estimates of phenotypic covariances *****

Covariance matrix
 1 16815.
 Covariances & correlations with approximate sampling errors

| | | | |
|---|------------|---------|---------|
| 3 | COVS T 1 1 | 16814.7 | 721.202 |
|---|------------|---------|---------|

==== end of file =====08-04-2026=====18:28=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Summary of Pedigree Information and related

=====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

```

Analysis type      : "UNI"
Data file         : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file     : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file    : "wombat.par"

No. of animal IDs in pedigree file      =      4508
No. of add. animal IDs in data file     =           1
No. of animal IDs in total              =      4509

****Pedigree Structure for random effect : 1 ****
Original no. of animals                  =      4509
No. of animals after pruning            =      4491
... proportion (%) remaining            =      99.6

No. of levels w/out records              =           468
No. of levels with records              =      4023  100.0%
... 1 record(s)                         =      4023  100.0%

No. of animals w/out offspring          =      4023  89.6%
No. of animals with offspring           =           468  10.4%
... and records                         =           0   0.0%

No. of animals with unknown sire        =           45
No. of animals with unknown dam        =           43
No. of animals with both parents unknown =           43
No. of animals with records            =
... and unknown sire                   =           2
... and unknown dam                    =           1
... and both parents unknown           =           1
No. of sires                           =          236
... with progeny in the data            =          203
... with records & progeny in data      =           0
No. of dams                             =          232
... with progeny in the data            =          206
... with records & progeny in data      =           0

No. of animals with known/unpruned grand-parents
... with paternal grandsire            =      4066
... with paternal granddam             =      4139
... with maternal grandsire            =      4169
... with maternal granddam             =      4169
Random effect no.                      =           1 "ID" NRM
No. of levels                           =          4491
Log determinant calculated              = -3453.22
No. of elements in NRM inverse         =          13703

```

==== end of file =====08-04-2026=====18:28=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Estimates of covariance components

=====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

```

Analysis type      : "UNI"
Data file         : "RibeDr4Pol3.DAT"
Pedigree file     : "ReducedPedFile.dat"
Parameter file    : "wombat.par"

No. of traits      =           1          D24
No. of records     =      4023          4023
No. of parameters  =           2

```

Maximum log L = -14543.885
 -1/2 AIC & AICC = -14545.885 -14545.886
 -1/2 BIC = -14552.182 "Penalty factor" = 4.149

Operational zero used = 0.00000001000
 Value for "small" = 0.00010000000
 Limit: "small" pivots = 0.00100000000

Eigenvalues of AI matrix
 12.9972 0.402535

Parameter estimates with approx. sampling errors
 1 CHOL Z 1 1 16.5318 0.859183
 2 CHOL A 1 1 20.4590 1.35019

Convergence criteria for last 3 iterates
 Change in log likelihood = 8.954216 0.037194 0.000019
 Change in parameter vector = 0.040377 0.003555 0.000345
 Norm of gradient vector = 16.4444 0.9769 0.0057
 Newton decrement = -17.4313 -0.0739 -0.0000

***** Estimates of residual covariances *****
 Order of fit = 1
 Covariance matrix
 1 273.30
 Matrix of correlations and variance ratios
 1 0.3950
 Covariances & correlations with approximate sampling errors
 1 COVS Z 1 1 273.299 28.4076 vrat 0.395 0.055

***** Estimates for RE 1 "ID" *****
 No. of levels = 4491
 Covariance structure = NRM
 Order of fit = 1
 Covariance matrix
 1 418.57
 Matrix of correlations and variance ratios
 1 0.6050
 Covariances & correlations with approximate sampling errors
 2 COVS A 1 1 418.571 55.2470 vrat 0.605 0.055

***** Estimates of phenotypic covariances *****
 Covariance matrix
 1 691.87
 Covariances & correlations with approximate sampling errors
 3 COVS T 1 1 691.871 30.8512

==== end of file =====08-04-2026=====18:32=====

==== Version 26-02-2021 ===== **KM** =====

Program WOMBAT: Summary of Pedigree Information and related
 =====

WOMBAT analysis of Ribe doktorat ZEM 2026 Pol3 V4

Analysis type : "UNI"
 Data file : "RibeDr4Pol3.DAT"
 Pedigree file : "ReducedPedFile.dat"
 Parameter file : "wombat.par"

No. of animal IDs in pedigree file = 4508
 No. of add. animal IDs in data file = 1
 No. of animal IDs in total = 4509

*****Pedigree Structure for random effect : 1 *****
 Original no. of animals = 4509

```

No. of animals after pruning          =      4491
... proportion (%) remaining          =      99.6

No. of levels w/out records           =       468
No. of levels with records            =     4023  100.0%
... 1 record(s)                      =     4023  100.0%

No. of animals w/out offspring        =     4023   89.6%
No. of animals with offspring         =       468   10.4%
... and records                       =          0    0.0%

No. of animals with unknown sire     =       45
No. of animals with unknown dam      =       43
No. of animals with both parents unknown =       43
No. of animals with records           =
... and unknown sire                 =         2
... and unknown dam                  =         1
... and both parents unknown         =         1
No. of sires                          =     236
... with progeny in the data          =     203
... with records & progeny in data    =         0
No. of dams                            =     232
... with progeny in the data          =     206
... with records & progeny in data    =         0

No. of animals with known/unpruned grand-parents
... with paternal grandsire           =     4066
... with paternal granddam            =     4139
... with maternal grandsire           =     4169
... with maternal granddam            =     4169
Random effect no.                     =          1  "ID"  NRM
No. of levels                          =     4491
Log determinant calculated             = -3453.22
No. of elements in NRM inverse        =     13703
    
```

==== end of file =====08-04-2026=====18:32=====

Deo output-a iz SAS programa: Uticaj posmatranih faktora

```

The SAS System

The GLM Procedure
Class Level Information

Class Levels Values
g_mresta 10 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
tank_1 50 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27
28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
pol_1 2 1 2

Number of Observations Read 11085
Number of Observations Used 4736
    
```

```

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: tm5 tm5

Source DF Sum of Squares Mean Square F Value Pr > F
Model 382 35244.40990 92.26285 25.42 <.0001
Error 4353 15800.75582 3.62985
Corrected Total 4735 51045.16571
    
```

R-Square Coeff Var Root MSE tm5 Mean
 0.690455 23.53015 1.905218 8.096921

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 9 | 20171.93089 | 2241.32565 | 617.47 | <.0001 |
| tank_1 | 49 | 1937.88569 | 39.54869 | 10.90 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 48.04414 | 48.04414 | 13.24 | 0.0003 |
| g_mresta*pol_1 | 9 | 20.16393 | 2.24044 | 0.62 | 0.7834 |
| g_mresta*tank_1 | 265 | 12879.30209 | 48.60114 | 13.39 | <.0001 |
| tank_1*pol_1 | 49 | 187.08315 | 3.81802 | 1.05 | 0.3757 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 9 | 13600.46733 | 1511.16304 | 416.32 | <.0001 |
| tank_1 | 49 | 2136.98947 | 43.61203 | 12.01 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 45.16592 | 45.16592 | 12.44 | 0.0004 |
| g_mresta*pol_1 | 9 | 42.08464 | 4.67607 | 1.29 | 0.2375 |
| g_mresta*tank_1 | 265 | 12650.31934 | 47.73705 | 13.15 | <.0001 |
| tank_1*pol_1 | 49 | 187.08315 | 3.81802 | 1.05 | 0.3757 |

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: d5 d5

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 382 | 458974.1023 | 1201.5029 | 27.03 | <.0001 |
| Error | 4353 | 193511.3299 | 44.4547 | | |
| Corrected Total | 4735 | 652485.4322 | | | |

R-Square Coeff Var Root MSE d5 Mean
 0.703424 7.441766 6.667436 89.59481

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 9 | 304456.9561 | 33828.5507 | 760.97 | <.0001 |
| tank_1 | 49 | 22435.1449 | 457.8601 | 10.30 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 162.5639 | 162.5639 | 3.66 | 0.0559 |
| g_mresta*pol_1 | 9 | 418.4762 | 46.4974 | 1.05 | 0.4002 |
| g_mresta*tank_1 | 265 | 129478.1313 | 488.5967 | 10.99 | <.0001 |
| tank_1*pol_1 | 49 | 2022.8299 | 41.2822 | 0.93 | 0.6154 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 9 | 189118.3638 | 21013.1515 | 472.69 | <.0001 |
| tank_1 | 49 | 16689.1464 | 340.5948 | 7.66 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 264.5144 | 264.5144 | 5.95 | 0.0148 |
| g_mresta*pol_1 | 9 | 443.5005 | 49.2778 | 1.11 | 0.3527 |
| g_mresta*tank_1 | 265 | 127632.3205 | 481.6314 | 10.83 | <.0001 |
| tank_1*pol_1 | 49 | 2022.8299 | 41.2822 | 0.93 | 0.6154 |

The GLM Procedure

Dependent Variable: tm12 tm12

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 17 | 62363795.74 | 3668458.57 | 1785.86 | <.0001 |
| Error | 4068 | 8356361.32 | 2054.17 | | |
| Corrected Total | 4085 | 70720157.06 | | | |

R-Square Coeff Var Root MSE tm12 Mean

0.881839 20.17113 45.32295 224.6921

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 8 | 62244973.70 | 7780621.71 | 3787.72 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 82210.82 | 82210.82 | 40.02 | <.0001 |
| g_mresta*pol_1 | 8 | 36611.23 | 4576.40 | 2.23 | 0.0228 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 8 | 59636591.55 | 7454573.94 | 3629.00 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 15515.41 | 15515.41 | 7.55 | 0.0060 |
| g_mresta*pol_1 | 8 | 36611.23 | 4576.40 | 2.23 | 0.0228 |

The GLM Procedure

Dependent Variable: d12 d12

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 17 | 21115743.97 | 1242102.59 | 3017.92 | <.0001 |
| Error | 4069 | 1674698.97 | 411.58 | | |
| Corrected Total | 4086 | 22790442.94 | | | |

R-Square Coeff Var Root MSE d12 Mean

0.926517 7.394597 20.28731 274.3532

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 8 | 21111184.03 | 2638898.00 | 6411.71 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 3486.22 | 3486.22 | 8.47 | 0.0036 |
| g_mresta*pol_1 | 8 | 1073.72 | 134.22 | 0.33 | 0.9564 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 8 | 19714574.54 | 2464321.82 | 5987.54 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 1248.22 | 1248.22 | 3.03 | 0.0817 |
| g_mresta*pol_1 | 8 | 1073.72 | 134.22 | 0.33 | 0.9564 |

The GLM Procedure

Dependent Variable: tm24 tm24

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 15 | 64721973.7 | 4314798.2 | 333.44 | <.0001 |
| Error | 3840 | 49691255.0 | 12940.4 | | |
| Corrected Total | 3855 | 114413228.6 | | | |

R-Square Coeff Var Root MSE tm24 Mean
 0.565686 18.40164 113.7560 618.1841

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 7 | 63969340.35 | 9138477.19 | 706.20 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 136999.80 | 136999.80 | 10.59 | 0.0011 |
| g_mresta*pol_1 | 7 | 615633.51 | 87947.64 | 6.80 | <.0001 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 7 | 62704349.99 | 8957764.28 | 692.23 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 61106.47 | 61106.47 | 4.72 | 0.0298 |
| g_mresta*pol_1 | 7 | 615633.51 | 87947.64 | 6.80 | <.0001 |

The GLM Procedure

Dependent Variable: d24 d24

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 15 | 1685997.324 | 112399.822 | 216.96 | <.0001 |
| Error | 3840 | 1989363.784 | 518.063 | | |
| Corrected Total | 3855 | 3675361.108 | | | |

R-Square Coeff Var Root MSE d24 Mean
 0.458730 6.088529 22.76101 373.8343

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 7 | 1666413.088 | 238059.013 | 459.52 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 6.814 | 6.814 | 0.01 | 0.9087 |
| g_mresta*pol_1 | 7 | 19577.421 | 2796.774 | 5.40 | <.0001 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| g_mresta | 7 | 1644728.586 | 234961.227 | 453.54 | <.0001 |
| pol_1 | 1 | 328.820 | 328.820 | 0.63 | 0.4257 |
| g_mresta*pol_1 | 7 | 19577.421 | 2796.774 | 5.40 | <.0001 |

9. BIOGRAFIJA AUTORA

Vukosav Golubović je rođen 16. oktobra 1993. godine u Bijelom Polju, Crna Gora. Osnovnu školu “Marko Miljanov” u Bijelom Polju završio je 2008. godine sa odličnim uspehom. Gimnaziju “Miloje Dobrašinić”, završio je 2012. godine, takođe sa odličnim uspehom. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, odsek za Zootehniku, upisao je školske 2012/13. godine. Diplomski rad pod nazivom “Stanje i mogućnosti unapređenja govedarske proizvodnje na teritoriji opštine Bijelo Polje” odbranio je 28. septembra 2017. godine sa ocenom 10 (deset), čime je stekao stručni naziv diplomirani inženjer poljoprivrede. Osnovne studije završio je sa prosečnom ocenom 9,12. Master akademske studije upisao je 2017/18. godine na istom fakultetu. Položio je sve ispite propisane studijskim programom Poljoprivredne nauke, modul Zootehnika i 29. septembra 2018. godine odbranio master rad pod nazivom “Fenotipska i genetička varijabilnost osobina selekcionisanih familija kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*) sa prostora Republike Srbije“ sa ocenom 10 (deset), čime je završio master akademske studije sa prosečnom ocenom 9,43 i stekao akademski naziv master inženjer poljoprivrede. Doktorske akademske studije je upisao školske 2018/19. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Poljoprivredne nauke, modul Zootehnika. Veće naučne oblasti biotehničkih nauka 18.01.2022. godine je dalo saglasnost na odluku Nastavno - naučnog veća Poljoprivrednog fakulteta (32/3-5.1 od 29.12.2021) o prihvatanju teme doktorske disertacije Vukosava Golubovića, pod nazivom “Unapređenje proizvodnih karakteristika kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792), ukrštanjem selekcionisanih familija sa teritorije Republike Srbije”, pod mentorstvom Prof. dr Zorana Markovića i dr Dragana Stanojevića, docent (broj 61206-5354/2-21).

U zvanje istraživač pripravnik autor je izabran 25.04.2019. godine, kada započinje rad, u svojstvu saradnika na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja TR-31075, na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Nakon toga izabran je u zvanje istraživača saradnika 31.03.2022. godine.

Autor je učestvovao u postavci, realizaciji i tumačenju rezultata više eksperimenata iz programa ishrane šarana i pastrmki, kao i u istraživanjima iz oblasti selekcije kalifornijske pastrmke. U dosadašnjem radu najviše pažnje je usmerio ka proučavanju proizvodnih karakteristika familija kalifornijske pastrmke sa teritorije Republike Srbije, kao i na mogućnost unapređenja osobina rasta i plodnosti riba.

U saradnji sa drugim autorima objavio je ukupno 14 publikacija, među kojima se izdvaja 1 naučni rad u prestižnom međunarodnom časopisu (kategorija M21), 1 rad u međunarodnom časopisu (kategorija M22), 1 rad u vodećem nacionalnom časopisu (kategorija M24), 1 rad u nacionalnom časopisu (kategorija M63), kao i 10 saopštenja koja su predstavljena na međunarodnim naučnim skupovima (kategorija M34).

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: Vukosav Golubović

Broj indeksa: ZO 180046

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

Unapređenje proizvodnih karakteristika kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792), ukrštanjem selekcionisanih familija sa teritorije Republike Srbije

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampe i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Vukosav Golubović

Broj indeksa: ZO 180046

Studijski program: Poljoprivredne nauke

Nalov rada: Unapređenje proizvodnih karakteristika kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792), ukrštanjem selekcionisanih familija sa teritorije Republike Srbije

Mentor: dr Zoran Marković, redovni profesor

Drugi mentor: dr Dragan Ž. Stanojević, vanredni profesor

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Unapređenje proizvodnih karakteristika kalifornijske pastrmke (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792), ukrštanjem selekcionisanih familija sa teritorije Republike Srbije

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerade (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.