

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Vukašin S. Pajić

**MODELI ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU NA
PODRUČJU POSLOVNE LOGISTIKE**

doktorska disertacija

Beograd, 2024.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC ENGINEERING

Vukašin S. Pajić

**MODELS FOR SUPPORTING DECISION-
MAKING IN THE FIELD OF BUSINESS
LOGISTICS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024.

Mentor:

Redovni profesor **dr Milorad Kilibarda**,
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Članovi komisije:

Vanredni profesor **dr Milan Andrejić**,
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Redovni profesor **dr Svetlana Nikoličić**,
Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka

Vanredni profesor **dr Snežana Kaplanović**,
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Datum odbrane:

MODELI ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU NA PODRUČJU POSLOVNE LOGISTIKE

Rezime: Poslovna logistika predstavlja jedan od najkompleksnijih segmenata lanca snabdevanja s obzirom da se sastoji od velikog broja učesnika i aktivnosti koje su jako važne za konkurentnost jedne kompanije. Te aktivnosti se prvenstveno odnose na poručivanje, nabavku, upravljanje zalihama, distribuciju, i dr. Od svih navedenih aktivnosti, efikasnost procesa nabavke i distribucije može najviše uticati na efikasnost poslovanja i konkurentnost jedne kompanije. Upravo iz tog razloga, predmet ove doktorske disertacije su ova dva segmenta logistike, nabavka i distribucija. Cilj disertacije jeste da predloži modele za podršku odlučivanju na području poslovne logistike. Kako bi se ostvario postavljeni cilj, u disertaciji su definisana dva modela za podršku odlučivanju na području logistike nabavke i dva modela za podršku odlučivanju na području logistike distribucije.

Kada se govori o logistici nabavke, jedna od najznačajnijih aktivnosti jeste izbor dobavljača i alokacija poručivanja. Iz tog razloga, prvi model koji je razvijen u okviru disertacije, bavi se upravo ovom problematikom. U literaturi su prisutni modeli koji se odnose na izbor dobavljača i alokaciju poručivanja. Međutim, ti modeli su uglavnom bazirani na linearnom programiranju, gde jednom kada se reši model i dobije funkcija cilja, ona zapravo određuje od kog dobavljača je potrebno poručiti određenu količinu robe. Model koji je razvijen u ovoj disertaciji ima drugačiji pristup u odnosu na modele iz literature. Naime, u ovom modelu, prvo je primenjena DEA (engl. *Data Envelopment Analysis*) metoda kako bi se od početnog broja dobavljača izdvojili samo efikasni koji su potom dalje analizirani i vrednovani. Razlog za primenu DEA metode jeste to da se izbegne vrednovanje dobavljača koji nisu efikasni a samim tim i poručivanje od takvih dobavljača koje bi negativno uticalo na efikasnost rada same kompanije koja poručuje robu. Nakon implementacije DEA metode, u drugoj fazi, primenjena je FUCOM (engl. *Full Consistency Method*) metoda za utvrđivanje težina kriterijuma koji su korišćeni za vrednovanje dobavljača. U trećoj fazi, primenjena je CoCoSo (engl. *Combined Compromise Solution*) metoda za rangiranje dobavljača. Na osnovu rezultata iz ove faze, u poslednjoj fazi, razvijen je i primenjen model za alokaciju poručivanja. Može se zaključiti da je glavna razlika ovog modela u odnosu na one koji su prisutni u literaturi činjenica da ovaj model kombinuje MCDM (engl. *Multi Criteria Decision Making*) metode sa modelom linearnog programiranja kako bi rešio problem izbora dobavljača i alokacije poručivanja. S obzirom da se nabavka uglavnom odvija na međunarodnom nivou, jedan od sastavnih delova međunarodne trgovine jeste ugovaranje međunarodnih uslova isporuke iz Incoterms-a (engl. *International Commercial Terms*). Ova pravila jasno definišu odgovornosti i obaveze prodavca sa jedne strane i kupca sa druge. Takođe, ova pravila definišu i trenutak prelaska rizika kao i troškova sa prodavca na kupca. Imajući u vidu značaj izbora adekvatnog pravila isporuke, model koji se bavi upravo ovom problematikom razvijen je u ovoj disertaciji. Cilj modela bio je da se prvo sprovede anketno istraživanje kako bi se odredili faktori koji utiču na izbor pravila isporuke, najčešće korišćeni vidovi transporta, faktori koji su od presudnog značaja prilikom izbora pravila isporuke, kao i to koja se pravila isporuke najčešće koriste. Nakon sprovedenog anketnog istraživanja i obrade rezultata, izdvojeni su kriterijumi i varijantna rešenja koja su potom vrednovana sa ciljem da se za posmatrani primer izabere optimalno pravilo isporuke. Kako bi se odredile težine kriterijuma koji su korišćeni za vrednovanje varijantnih rešenja primenjena je MEREC (engl. *Method based on the Removal Effects of Criteria*) metoda. Nakon određivanja težina kriterijuma, varijantna rešenja su potom rangirana primenom MABAC (engl. *Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison*) metode.

Kao što je već napomenuto, pored logistike nabavke, logistika distribucije predstavlja jedan od ključnih faktora efikasnosti poslovanja i konkurentnosti jedne kompanije. Iz tog razloga, definisana su dva modela koja rešavaju probleme povezane sa distribucijom. Naime, prilikom realizacije procesa distribucije brojne kompanije se odlučuju da outsorsuju ovu aktivnost usled nedostatka sopstvenih kapaciteta. Međutim, izbor kompanije kojoj će se poveriti ovaj proces nije jednostavan, naročito ukoliko se uzmu u obzir karakteristike današnjeg poslovnog okruženja (neizvesnost, poremećaji, brojni izazovi prisutni na svetskom nivou, i dr.). Kompanije kojima se ovaj proces prepušta nazivaju se logistički provajderi i u zavisnosti od stepena obuhvatnosti pružene usluge najčešće se govori o 3PL (engl. *Third-party Logistics*) i 4PL (engl. *Fourth-party Logistics*) provajderima. Kako je pregledom literature utvrđeno da postoji veliki broj modela koji se odnose na izbor 3PL provajdera, cilj modela razvijenog u ovoj disertaciji bio je da se stvori osnov za podršku odlučivanju prilikom izbora rezilijentnih 4PL provajdera za isporuku robe u e-trgovini. Za razliku od prisutnih modela u literaturi, razvijeni model istovremeno uzima u obzir rezilijentnost, e-trgovinu i izbor 4PL provajdera. Opisani model baziran je na primeni *fuzzy* FUCOM, ET (engl. *Evidence Theory*), RBT (engl. *Rule-Based Transformation*) i WASPAS (engl. *Weighted Aggregates Sum Product Assessment*) metoda. *Fuzzy* FUCOM metoda je primenjena kako bi se odredile težine kriterijuma koji su korišćeni prilikom vrednovanja varijanti. Nakon određivanja težina, u drugoj fazi modela primenjene su ET i RBT metode kako bi se odredila početna matrica odlučivanja koja je potom korišćena u trećoj fazi modela, u WASPAS metodi. Prednost primene ovih metoda ogleda se kroz mogućnost nepotpune procene, što nije slučaj kod standardnih MCDM metoda. Primenom WASPAS metode izvršeno je rangiranje varijantnih rešenja (4PL provajdera). Prilikom realizacije procesa distribucije moguće je definisati mnogobrojne indikatore performansi koji će dati sliku o efikasnosti ovog procesa. Jedan od tih indikatora, koji se često primenjuje u praksi, jeste OTIF (engl. *On-Time In-Full*). Prilikom ugovaranja distribucije, naročito kada se ovaj proces outsorsuje, jako je bitan nivo ispunjenosti OTIF-a s obzirom da on definiše prag naplate penala (ukoliko distributer ne izvršava distribuciju efikasno) ili bonusa (ukoliko je distribucija efikasna). Imajući prethodno navedeno na umu, cilj četvrtog modela koji je razvijen u ovoj disertaciji jeste merenje ispunjenosti OTIF-a i efikasnosti u procesu distribucije proizvoda. Razvijeni model je baziran na DEA metodi, i testiran na primeru distribucije rezervnih delova.

Ključne reči: Poslovna logistika, nabavka, distribucija, trgovina, Incoterms, višekriterijumsko odlučivanje

Naučna oblast: Saobraćajno inženjerstvo

Uža naučna oblast: Poslovna logistika i špedicija

UDK broj:

MODELS FOR SUPPORTING DECISION-MAKING IN THE FIELD OF BUSINESS LOGISTICS

Abstract: Business logistics stands as one of the intricate components within the supply chain due to its extensive involvement of participants and activities pivotal for a company's competitive edge. These activities encompass ordering, procurement, inventory management, distribution, etc. Notably, the efficacy of procurement and distribution processes can wield a substantial influence on a company's overall efficiency and competitiveness. Consequently, this doctoral dissertation centers its focus on these two logistics facets: procurement and distribution. The dissertation's objective is to introduce decision support models within the realm of business logistics. To fulfill this aim, two decision support models for procurement logistics and two for distribution logistics have been developed and proposed in this dissertation.

When addressing procurement logistics, one of the pivotal activities is the selection of suppliers and order allocation. Consequently, the first model developed within this dissertation specifically tackles this challenge. Existing literature includes models related to supplier selection and order allocation. However, these models are primarily grounded in linear programming. Once the model is solved and the objective function is obtained, it essentially dictates from which supplier a specific quantity of goods should be ordered. The model developed in this dissertation takes a distinctive approach compared to those in the literature. In this model, the DEA method was initially applied to pinpoint only the efficient suppliers from the initial pool, subsequently subjected to further analysis and evaluation. The rationale behind employing the DEA method is to sidestep evaluating suppliers who lack efficiency and, consequently, to avoid ordering from such suppliers, which could detrimentally impact the efficiency of the ordering company. Following the implementation of the DEA method, in the second phase, the FUCOM method was applied to determine the criteria weights used for evaluating suppliers. In the third phase, the CoCoSo method was employed to rank the suppliers. Based on the results from this phase, in the last stage, a model for order allocation was developed and implemented. It can be concluded that the primary distinction of this model compared to those present in the literature lies in the fact that this model integrates MCDM methods with linear programming to address the issue of supplier selection and order allocation. Considering that procurement predominantly occurs at the international level, a crucial aspect of international trade involves negotiating international delivery terms based on Incoterms. These rules clearly delineate the responsibilities and obligations of the seller on one side and the buyer on the other. Additionally, these rules define the moment of risk and cost transfer from the seller to the buyer. Given the significance of choosing the appropriate delivery term, a model addressing this issue was developed in this dissertation. The model's objective was to conduct a survey to ascertain the factors influencing the choice of delivery terms, the most commonly used modes of transportation, critical factors in choosing delivery terms, and the most frequently utilized delivery terms. After conducting the survey and processing the results, criteria and variant solutions were identified and then evaluated to determine the optimal delivery term for the observed case. To ascertain the weights of the criteria used for evaluating variant solutions, the MEREC was applied. After determining the weights of the criteria, variant solutions were ranked using the MABAC method.

As previously emphasized, alongside procurement logistics, distribution logistics plays a crucial role in a company's operational efficiency and competitiveness. For this reason, two models have been developed to address issues related to distribution. In the execution of the distribution process, many companies opt to outsource this activity due to a lack of internal capabilities. However, choosing a suitable company for this process is not straightforward, particularly considering the complexities of today's business environment, marked by uncertainty, disruptions, and various global challenges. Companies entrusted with this process are commonly referred to as logistics providers, and depending on the scope of services offered, they are categorized as 3PL and 4PL providers. Based on the literature review, it was determined that there are numerous models related to the selection of 3PL providers. The primary objective of the model developed in this dissertation is to establish a foundation for decision support in the selection of resilient 4PL providers for delivering goods in e-commerce. In contrast to existing models in the literature, the developed model concurrently considers resilience, e-commerce dynamics, and the selection of 4PL providers. The described model is based on the application of fuzzy FUCOM, ET, RBT, and WASPAS methods. The fuzzy FUCOM method was applied to determine the criteria weights used in evaluating variants. Following the determination of weights, the ET and RBT methods were applied in the second phase of the model to establish the initial decision matrix. This matrix was then utilized in the third phase of the model, employing the WASPAS method. The advantage of employing these methods lies in their ability to handle incomplete assessments, providing flexibility not found in standard MCDM methods. The WASPAS method was then employed to rank variant solutions (4PL providers). When considering the distribution process, various performance indicators can be defined to gauge the efficiency of this operation. One such widely utilized indicator is OTIF. When negotiating distribution, particularly when outsourcing this process, the level of OTIF fulfillment holds paramount importance, as it sets the threshold for penalty imposition (if the distributor fails to execute distribution efficiently) or bonuses (if the distribution proves to be efficient). Bearing the aforementioned considerations in mind, the objective of the fourth model developed in this dissertation is to measure OTIF fulfillment and efficiency in the product distribution process. The developed model is based on the DEA method and has been tested in the context of spare parts distribution.

Keywords: Business logistics, procurement, distribution, trade, Incoterms, multi criteria decision-making (MCDM)

Scientific Field: Traffic engineering

Scientific Subfield: Business logistics and freight forwarding

UDC:

SADRŽAJ

SPISAK TABELA.....	VIII
SPISAK SLIKA.....	IX
1. UVODNA RAZMATRANJA.....	1
1.1 Obrazloženje motiva za izbor teme	1
1.2 Predmet i naučni cilj istraživanja	5
1.3 Polazne hipoteze.....	6
1.4 Očekivani rezultati i doprinosi disertacije.....	6
1.5 Prikaz sadržaja doktorske disertacije	6
2. PREGLED LITERATURE.....	8
2.1 Logistika nabavke	8
2.1.1 Izbor dobavljača i alokacija poručivanja	10
2.1.2 Uslovi isporuke robe u međunarodnoj trgovini.....	11
2.2 Logistika distribucije.....	14
2.2.1 Distribucija u e-trgovini.....	16
2.2.2 Rezilijentnost distributivnih sistema i lanaca snabdevanja	17
2.2.3 Evaluacija i izbor 4PL provajdera	18
2.2.4 Merenje OTIF-a i efikasnosti u distribuciji proizvoda	19
3. MODEL IZBORA DOBAVLJAČA I ALOKACIJE PORUDŽBINE.....	22
3.1 Struktura modela	24
3.1.1 DEA metoda za određivanje efikasnih dobavljača.....	24
3.1.2 FUCOM metoda za određivanje težina kriterijuma	24
3.1.3 CoCoSo metoda za rangiranje dobavljača.....	25
3.1.4 Model za alokaciju poručivanja.....	26
3.2 Postupak primene modela i analiza rezultata	28
3.3 Analiza osetljivosti modela	34
4. MODEL IZBORA USLOVA ISPORUKE ROBE.....	36
4.1 Postupak izbora INCOTERMS pravila isporuke robe	37
4.1.1 Definisane varijantnih rešenja i kriterijuma vrednovanja	38
4.1.2 Ocena težina kriterijuma primenom MEREK metode.....	39
4.1.3 Rangiranje varijantnih rešenja primenom MABAC metode	40
4.1.4 Analiza osetljivosti	41
4.2 Analiza rezultata istraživanja i primene modela	42
4.2.1 Rezultati anketnog istraživanja.....	42

4.2.2 Opis varijantnih rešenja i kriterijuma	45
4.2.3 Utvrđivanje težina kriterijuma	46
4.2.4 Rangiranje varijantnih rešenja	47
4.2.5 Rezultati analize osetljivosti	48
5. MODEL EVALUACIJE 4PL PROVAJDERA U E-TRGOVINI	50
5.1 Struktura modela	50
5.1.1 Fuzzy FUCOM metoda	50
5.1.2 Teorija dokaza (ET).....	52
5.1.3 Transformacija zasnovana na pravilima - RBT	53
5.1.4 WASPAS metoda	56
5.2 Postupak ocene 4PL provajdera	57
5.2.1 Određivanje težina kriterijuma primenom fuzzy FUCOM metode.....	58
5.2.2 Određivanje početne matrice odlučivanja primenom ET i RBT	64
5.2.3 Rangiranje varijanti primenom WASPAS metode	69
5.3 Analiza osetljivosti modela	71
6. MODEL MERENJA OTIF-a I EFIKASNOSTI DISTRIBUCIJE PROIZVODA.....	73
6.1 Opis problema	74
6.2 Opis distributivne mreže	77
6.3 Postupak merenja efikasnosti ispunjenja OTIF-a.....	78
6.3.1 Definisane ulaznih i izlaznih parametara	78
6.3.2 Matematička formulacija modela	83
6.4 Testiranje modela i analiza rezultata	83
7. ZAKLJUČAK	92
7.1 Naučni doprinosi	92
7.2 Pravci budućih istraživanja	94
LITERATURA	96
BIOGRAFIJA AUTORA	111

SPISAK TABELA

Tabela 3.1. Notacija modela (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022).....	27
Tabela 3.2. Rezultati DEA metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	29
Tabela 3.3. Rezultati DEA metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	30
Tabela 3.4. Početna matrica odlučivanja (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022).....	31
Tabela 3.5. Normalizovana matrica odlučivanja (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022).....	31
Tabela 3.6. Vrednosti parametra S_i (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	32
Tabela 3.7. Vrednosti parametra P_i (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	32
Tabela 3.8. Rangiranje dobavljača primenom CoCoSo metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	32
Tabela 3.9. Ulazni podaci modela (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022).....	33
Tabela 3.10. Izlazni rezultati modela (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	33
Tabela 4.1. Deskriptivna statistika anketnog istraživanja.....	42
Tabela 4.2. Početna matrica odlučivanja za utvrđivanje težina kriterijuma	47
Tabela 4.3. Utvrđene težine kriterijuma primenom MEREC metode	47
Tabela 4.4. Normalizovana matrica odlučivanja primenom MABAC metode	47
Tabela 4.5. Otežana matrica odlučivanja primenom MABAC metode	47
Tabela 4.6. Matrica graničnih aproksimativnih oblasti	48
Tabela 4.7. Rangiranje varijanti primenom MABAC metode	48
Tabela 4.8. Težine kriterijuma po scenarijima.....	48
Tabela 4.9. Rangiranje varijanti po scenarijima	49
Tabela 5.1. ET ocene (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023)	53
Tabela 5.2. Generalizovane strukture uverenja nakon RBT (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023)	55
Tabela 5.3. Kriterijumi za evaluaciju 4PL (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	58
Tabela 5.4. Ocene za različite dimenzije kvaliteta usluge (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	59
Tabela 5.5. Ocene za različite dimenzije fleksibilnosti (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	60
Tabela 5.6. Fuzzy lingvistička skala (Pamučar i Ecer, 2020).....	61
Tabela 5.7. Lingvistička ocena kriterijuma (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023).....	61
Tabela 5.8. Skale za ocenu kriterijuma (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	64
Tabela 5.9. Pravila ekvivalencije za svaki kriterijum (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	66
Tabela 5.10. Rezultati izvorne procene (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023).....	66
Tabela 5.11. Transformisani rezultati procene (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023).....	67
Tabela 5.12. Intervali korisnosti (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023).....	69
Tabela 5.13. Početna matrica odlučivanja WASPAS metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	69
Tabela 5.14. Normalizovana matrica odlučivanja WASPAS metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	69
Tabela 5.15. Vrednosti WSM i WPM (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023).....	70
Tabela 5.16. Rangiranje varijantnih rešenja za $\lambda = 0,5$ (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	70
Tabela 5.17. Rezultati analize osetljivosti za sve vrednosti λ (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)	71

Tabela 6.1. Ulazni i izlazni parametri modela	78
Tabela 6.2. Ulazni podaci DEA modela	85
Tabela 6.3. Rezultati modela za procenu efikasnosti ispunjenosti OTIF-a	86
Tabela 6.4. Benčmark skladišta	88
Tabela 6.5. Slack vrednosti DEA modela	90

SPISAK SLIKA

Slika 3.1. Koncept modela za izbor dobavljača i alokaciju poručivanja (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)	23
Slika 3.2. Analiza osetljivosti modela za izbor dobavljača i alokaciju poručivanja.....	35
Slika 4.1. Postupak izbora pravila isporuke iz Incoterms-a.....	37
Slika 4.2. Varijantna rešenja i kriterijumi odlučivanja	38
Slika 4.3. Tržišta sa kojima najčešće posluju ispitanici.....	43
Slika 4.4. Najčešće korišćeni vidovi transporta	43
Slika 4.5. Učestalost izbora pravila isporuke iz Incoterms-a 2020.....	44
Slika 4.6. Faktori koji utiču na izbor pravila isporuke.....	44
Slika 4.7. Faktori koji su od presudnog značaja prilikom izbora pravila isporuke.....	45
Slika 5.1. Postupak ocene 4PL provajdera (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023).....	58
Slika 6.1. Konceptualni model.....	74
Slika 6.2. Izgled distributivne mreže	78
Slika 6.3. Izgled mreže za distribuciju rezervnih delova	84
Slika 6.4. Matrica odlučivanja	87

1. UVODNA RAZMATRANJA

1.1 OBRAZLOŽENJE MOTIVA ZA IZBOR TEME

Poslovna logistika je deo lanca snabdevanja i podrazumeva planiranje, projektovanje, organizaciju i upravljanje logističkim sistemima, procesima i aktivnostima vezanim za protok materijalnih dobara od izvora sirovina, preko proizvodnje, prodaje, distribucije i isporuke proizvoda krajnjim potrošačima (Business Logistics, 2023). Sa aspekta kretanja materijalnih dobara u svakom lancu snabdevanja se mogu izdvojiti četiri funkcionalna područja logistike: logistika nabavke, logistika proizvodnje, logistika distribucije (prodaje) i logistika povratnih tokova. Pojam poslovne logistike se odnosi na logistiku nabavke i logistiku prodaje i distribucije proizvoda. To su ključne funkcije u svakoj kompaniji bez obzira da li se ona bavi proizvodnjom, trgovinom ili pružanjem određenih usluga. S druge strane, nema uspešne nabavke, prodaje i distribucije bez odgovarajuće logistike. Preko logistike nabavke kompanije se povezuju sa tržištem nabavke, dobavljačima i drugim učesnicima u lancu snabdevanja, a preko logistike prodaje i distribucije sa tržištem prodaje, kupcima i potrošačima. Iz tih razloga, često se za logistiku nabavke kaže da se radi o ulaznoj logistici (engl. *inbound logistics*), a za logistiku distribucije da je to izlazna logistika (engl. *outbound logistics*).

Logistika nabavke ima zadatak da obezbedi efikasnu nabavku potrebnih materijalnih dobara sa ciljem da se oni nađu na mestu gde su potrebni, u vreme kada su potrebni, u količini kojoj su potrebni i odgovarajućoj ceni. To se, pre svega, odnosi na: sirovine, poluproizvode, komponente, pogonske i pomoćne materijale, rezervne delove, investiciona sredstva i opremu, ali i finalne proizvode. Može se reći da se zadaci logistike nabavke realizuju na dva nivoa. Prvi nivo je planiranje, koje se odnosi na: istraživanje, izbor dobavljača i tržišta nabavke; definisanje strategija nabavke, dizajniranje mreža i kanala snabdevanja, modele upravljanja zalihama, izrade planova nabavke za različite vremenske horizonte i dr. Drugi nivo je realizacija (izvršenje) nabavke, koji se odnosi na poručivanje, popunjavanje zaliha, transport, skladištenje i isporuka materijala u proizvodnju ili sisteme distribucije i prodaje. Dakle, radi se o širokom spektru logističkih aktivnosti čija kompleksnost uglavnom zavisi od: privredne grane, veličine kompanije, postupka proizvodnje, načina prodaje, prostorne disperzije i lokacijskog položaja dobavljača, proizvodnih, logističkih i trgovinskih sistema u lancu snabdevanja.

Danas se materijalna dobra uglavnom nabavljaju na različitim tržištima širom sveta, što dodatno komplikuje procese logističkog planiranja, nabavke i fizičke dopreme proizvoda. Trend globalizacije i proširenja tržišta na globalnom nivou podstakao je kompanije da sve više pažnje poklanjaju planiranju i upravljanju procesom nabavke. U globalnim uslovima poslovanja od posebne je važnosti dobar izbor dobavljača i tržišta nabavke, pravilna alokacija porudžbina u vremenu i definisanje uslova isporuke robe.

Jedan od osnovnih zadataka logistike nabavke jeste izbor dobavljača (Gheidar-Kheljani et al., 2010; Masi et al., 2013; Choudhary and Shankar, 2013; Rosyidi et al., 2017; Jain et al., 2020; Lu et al., 2021; Wu et al., 2021; Firouzi i Jadidi, 2021). Međutim, pored ovog, logistika nabavke se susreće i sa nizom drugih zadataka kao što su: alokacija količina koje se poručuju od dobavljača (Choudhary and Shankar, 2013; Firouzi and Jadidi, 2021), izbor lokacije logističkog centra (Ulutas et al., 2020; Yazdani et al., 2020), donošenje odluka o centralizovanoj ili decentralizovanoj nabavci (Vagstad, 2000; Baboli et al., 2011; Kanepejs i Kirikova, 2018), tenderi (Kovács i Bóna, 2009; Balm i van Amstel, 2018; Nataraj et al., 2020), primena novih tehnologija u nabavci (Rejeb et al., 2018; Xu et al., 2021; Raj et al., 2022), i dr.

Za rešavanje ovih problema u literaturi se najčešće koriste metode višekriterijumskog odlučivanja, heuristike, metaheuristike, matematičko programiranje i dr. Od efikasnosti procesa nabavke zavisi efikasnost niza procesa koji potom slede kao što su proizvodnja, distribucija i isporuka do krajnjih korisnika. Prekid procesa proizvodnje može ostaviti velike posledice po profitabilnost kompanije. Iz tog razloga neophodno je izabrati dobavljača koji može ispratiti postojeću potražnju ali i koji može obezbediti potrebnu fleksibilnost ukoliko dođe do iznenadnih promena u potražnji. Nepoštovanje roka isporuke od strane dobavljača, direktno utiče na kašnjenje isporuke i na nezadovoljstvo krajnjih korisnika. Pored toga, izbor dobavljača ima uticaja i na efikasnost celog lanca snabdevanja s obzirom da saradnja sa adekvatnim dobavljačima može rezultovati smanjenjem troškova ali i smanjenjem vremena koje je potrebno za isporuku sirovina (proizvoda).

Koliko je značajno upravljati procesom nabavke govori podatak da troškovi nabavke mogu iznositi i do 70% troškova finalnog proizvoda (Bottani et al., 2018). Takođe, u industrijskim kompanijama udeo nabavke se u ukupnom prometu kreće od 50-90% (Taghizadeh i Ershadi, 2013). Na osnovu ovoga, može se zaključiti da se efikasnom nabavkom mogu ostvariti značajne uštede i može uticati na profitabilnost kompanije. Iz tog razloga, pitanje izbora dobavljača prepoznato je kako u literaturi tako i u praksi, gde se sve više pažnje poklanja upravo ovom procesu. U praksi se često procesi nabavke i izbora dobavljača odvijaju pomoću tendera. Međutim, kako bi kompanije diferencirale različite dobavljače neophodna je primena određenih alata. Pored poslovnih pokazatelja (kao što su finansijska stabilnost, poslovanje u prethodnim godinama, iskustvo i dr.) moguće je primeniti i neku od metoda višekriterijumskog odlučivanja. Nakon izbora adekvatnog dobavljača, logistika nabavke se suočava sa problemom alokacije porudžbina, gde je sada potrebno odrediti količine koje je potrebno poručiti od dobavljača po određenim uslovima. Ovaj problem je posebno složen s obzirom na mnoga ograničenja koja se tom prilikom mogu pojaviti.

Jedan od važnih zadataka kada je u pitanju nabavka na međunarodnom tržištu jeste definisanje i ugovaranje uslova isporuke robe. Potrebno je precizno definisati šta su obaveze prodavca, a šta su obaveze kupca u pogledu mesta i vremena isporuke, troškova i rizika, organizacije transporta, dokumenata, carinjenja, osiguranja i sl. Da bi se izbegli nesporazumi, koji mogu nastati iz jezičkih, poslovnih, sociološko-kulturnih i drugih različitosti partnera na međunarodnom tržištu, savetuje se korišćenje pravila za tumačenje uslova isporuke iz Incoterms-a. Izborom adekvatnih uslova isporuke može se direktno uticati na rizike i troškove koji se javljaju u međunarodnoj trgovini. Pored toga, izabrani uslovi isporuke direktno utiču na organizaciju, efikasnost i pouzdanost snabdevanja. Nije moguću kreirati i obezbediti efikasno logističko rešenje ukoliko nisu ugovoreni odgovarajući uslovi isporuke. Pregledom literature ustanovljeno je da postoji mali broj radova koji se bave ovom tematikom (Yaakub et al., 2018; Stojanović i Ivetić, 2020a; Stojanović i Ivetić, 2020b; Soga, 2021; Hajdukiewicz i Pera, 2021; Unal i Metin, 2021). Postoji značajan *gap* između dostupnih naučno-stručnih radova i realnih problema vezanih za uslove isporuke robe u međunarodnoj trgovini.

Logistika prodaje i distribucije obuhvata sve procese i aktivnosti koje su vezane za prodaju, distribuciju i isporuku finalnih proizvoda od mesta proizvodnje do mesta prodaje i krajnje potrošnje. Cilj je da se obezbedi maksimalni nivo kvaliteta usluge isporuke uz minimalne logističke troškove i cene finalnih proizvoda. Slično kao i kod logistike nabavke i ovde se logistički zadaci obavljaju na nivou planiranja distribucije i na nivou realizacije i izvršenja isporuke proizvoda. Planiranje se odnosi na dizajniranje distributivnih mreža i kanala, upravljanje zalihama, definisanje strategija distribucije, predviđanje tražnje, izrada planova distribucije i sl. Poslovi realizacije distribucije vezani su za fizički protok proizvoda i

informacija i aktivnosti kao što su: obrade narudžbina, skladištenja, komisioniranja, pakovanja, upravljanja zalihama i transporta (Andrejić i Kilibarda, 2016; Hand, 2021).

Proces distribucije počinje prijemom porudžbine od kupca i završava se procesom transporta i isporuke proizvoda kupcima, odnosno krajnjem potrošaču. Iz same činjenice da proces distribucije obuhvata veliki broj aktivnosti i učesnika, može se izvući zaključak o njegovom značaju za svaku kompaniju. Preko procesa distribucije kompanija ostvaruje direktan kontakt sa potrošačima, što logistiku čini ključnim faktorom konkurentnosti. Značaj procesa isporuke proizvoda odavno je prepoznat u literaturi, tako da postoje različiti modeli koji se bave optimizacijom distribucije (Zhang et al., 2022a; Ren et al., 2023; Cui et al., 2023). Na efikasnost distribucije može značajno uticati rutiranje vozila, gde se pravilnim planiranjem mogu postići određene uštede u troškovima i vremenu. Pored izbora strategije rutiranja, na procese distribucije može uticati i izbor kanala distribucije, što se izdvaja kao važna strateška odluka (Andrejić i Kilibarda, 2015). Pravi izbor kanala može uticati na smanjenje troškova kao i na povećanje zadovoljstva kupaca. Ostvarivanje ušteda je naročito značajno na području distribucije ukoliko se zna da su troškovi logistike u bruto društvenom proizvodu SAD-a, učestvovali sa 7,7% 2017. godine (Staff, 2018), a zavisno od stepena razvijenosti određene ekonomije učestvuju sa od 5-15% (Pishvae et al., 2007). Logistički troškovi kompanije mogu iznositi 9,5% od njene ukupne prodaje (Establish, 2016). Svi ovi problemi prepoznati su u literaturi gde postoje modeli koji se bave: izborom logističkih provajdera (više o ovom problemu biće rečeno u nastavku), rutiranjem (Kucharska, 2019; Zennaro et al., 2022), definisanjem mreže lanca snabdevanja (Zhang et al., 2022b; Huang et al., 2011; Li et al., 2015), izborom vida transporta (Eskigun et al., 2005; Tuzkaya i Onut, 2008; Gong et al., 2017), izborom kanala distribucije (Serbest i Vayvay, 2008; Bian et al., 2018; Luo et al., 2022), upravljanjem zalihama (Granillo-Macías 2020; Vukasović et al., 2021), i dr. Za rešavanje ovih problema u literaturi se najčešće koriste metode višekriterijumskog odlučivanja, heuristike, metaheuristike i dr.

Proces distribucije dodatno komplikuju zahtevi koji nastaju u e-trgovini. Naime, poslednjih godina, e-trgovina postaje sve važniji kanal prodaje i proizvoda i usluga. Procenjuje se da e-trgovina u ukupnoj maloprodaji na svetskom tržištu učestvuje između 20-25% i da će u narednim godinama rast *online* prodaje biti oko 10% godišnje (Keenan, 2022). Razlozi za to su brojni, a neke od prednosti međunarodne e-trgovine koje dovode do toga ogledaju se u lakšem širenju na strana tržišta, kraćim ciklusima B2B (engl. *Business-to-Business*) prodaje, manjim preprekama za ulazak na inostrano tržište, bržoj izgradnji međunarodnog prisustva, itd. (Keenan, 2022). E-trgovina omogućava potrošačima da kupuju proizvode širom sveta uz minimalne troškove, vreme i trud. Pored toga, prednosti e-trgovine su brojne i ogledaju se u dostupnosti proizvoda 24/7 na globalnom tržištu, te brzini i udobnosti kupovine iz fotelje jednim klikom (Gurău et al., 2001). Ono što se ne može tako brzo i udobno realizovati je isporuka proizvoda, što često dovodi do nezadovoljstva krajnjih potrošača. Naime, proizvodi koji se naručuju putem interneta moraju fizički da prođu kroz veoma složene lance snabdevanja, gde logistički procesi zahtevaju određeno vreme, generišu troškove, angažuju različite resurse i nailaze na brojne rizike i poremećaje (Delfmann et al., 2002). E-trgovina stalno postavlja nove izazove i zahteve pred logistiku, kao što su pouzdana isporuka proizvoda u najkraćem mogućem roku, povoljne cene i uslovi isporuke, visok kvalitet proizvoda i usluga, visoka učestalost isporuke manjih pošiljki, vraćanje proizvoda, itd. S pravom se tvrdi da su logistika i isporuka proizvoda ključni i kritični faktori za uspešnu e-trgovinu (Bhattacharjya et al., 2016). Prodavci na internetu traže različita rešenja kako bi efikasno isporučili proizvode i ispunili povećana očekivanja potrošača. Tom prilikom kompanije imaju dve mogućnosti i to: da sopstvenim resursima realizuju distribuciju ili da to prepuste logističkim kompanijama (provajderima). Za same prodavce druga opcija je povoljnija s obzirom da angažuju provajdera

logističkih usluga (engl. *Logistics Service Provider - LSP*), koji ima potrebno znanje, iskustvo i resurse i kvalifikovan je da ponudi i pruži punu logističku uslugu u domenu projektovanja, planiranja i upravljanja lancima snabdevanja i isporuke proizvoda. Ovaj problem prepoznat je i u literaturi gde postoje modeli koji pružaju podršku prilikom donošenja odluka o angažovanju logističkih provajdera (Bhatti et al., 2010; Yang et al., 2010; Nuengphasuk i Samanchuen, 2019; Naseem et al., 2021; Aydin et al., 2022). Na svetskom tržištu postoji velika ponuda provajdera koji nude logističke usluge u e-trgovini i ovom prilikom je veoma važno angažovati pravog.

Efikasnim upravljanjem poslovnom logistikom mogu se ostvariti brojni benefiti kao što su: unapređenje efikasnosti, smanjenje kašnjenja i poremećaja u lancu snabdevanja, kontinualna isporuka uz poštovanje rokova isporuke, povećanje profita, i dr. (DRG solutions, 2021). Međutim, procesi na području poslovne logistike i lanaca snabdevanja, danas se realizuju u vrlo dinamičnom i nestabilnom okruženju, koje je puno različitih izazova. Međunarodnu trgovinu i logistiku, odnosno globalne lance snabdevanja, poslednjih godina, prate veoma jaki poremećaji, kao što su pandemije, trgovinski i stvarni ratovi, energetske i ekonomske krize, štrajkovi, zagušenja svetskih luka, aerodroma i glavnih logističkih ruta. Procese realizuje veliki broj učesnika, u različitim sredinama i na različitim geografskim područjima, pred kojima se postavlja zahtev za otpornošću na različite izazove i poremećaje. Sve to prate novi privredni i logističkih trendovi.

Proces odlučivanja na području poslovne logistike i lanaca snabdevanja prati izuzetno velika neizvesnost, neodređenost, nepredvidljivost i nepreciznost u pogledu zahteva tržišta, ali i parametara vezanih za logistiku i prateće procese. Nedovoljno pouzdani ulazni parametri i informacije koje su nekompletne i u različitim oblicima i formatima dodatno otežavaju proces donošenja odluka. Savremene izazove i poremećaje je vrlo teško predvideti i uključiti u tradicionalne modele odlučivanja. Opšte ubrzanje poslovanja zahteva da se odluke donose u što kraćem vremenskom periodu, što dodatno komplikuje proces odlučivanja. Odluke se moraju donositi brzo, uz odsustvo adekvatnih ulaznih parametara i podataka. Pored toga, logističke odluke se redovno donose pod vrlo jakim uticajem drugih funkcija i sektora u kompaniji, kao što su prodaja, proizvodnja, nabavka, finansije i sl. Radi se o velikoj međuzavisnosti pojedinih funkcija, koje često imaju i suprotstavljene ciljeve. Isto tako, prisutni su različiti zahtevi, uslovi, ograničenja i uticaji, koji dolaze od dobavljača, logističkih kompanija, kupaca, državnih institucija i drugih učesnika u lancu snabdevanja. Imajući u vidu koliko je proces odlučivanja zahtevan i složen, neophodno je koristiti različite modele i pristupe odlučivanju. Ovi problemi prepoznati su i u praksi ali i u literaturi gde su prisutni brojni alati i metode za rešavanje raznih problema sa kojima se suočavaju zaposleni u ovoj oblasti. Međutim, značajan broj modela ne može odgovoriti na nove trendove, izazove i poremećaje. Ranije razvijeni modeli koji su prisutni u literaturi imaju određena ograničenja u primeni i postoji jasan *gap* između tih novih uslova poslovanja i odlučivanja i razvijenih modela što donosi odluke pravi određene probleme.

Iz svega navedenog može se zaključiti koliko su logistički procesi na području nabavke i distribucije važni za konkurentnost, efikasno i ekonomično poslovanje svake kompanije. Radi se o prostoru na kome je moguće postići značajne uštede u troškovima i vremenu. Za sve to je potrebno raspolagati odgovarajućim sistemima i modelima za podršku odlučivanju na različitim nivoima. Veliki broj postojećih modela ima određena ograničenja i ne mogu adekvatno odgovoriti na savremene trendove, izazove i poremećaje koji se pojavljuju u lancima snabdevanja. Navedene činjenice presudno su uticale na motive i izbor teme istraživanja u okviru ove doktorske disertacije.

Osnovni motiv predloženog istraživanja je da se uočeni *gap* između novih izazova, zahteva i uslova odlučivanja i raspoloživih pristupa i metoda smanji, kroz razvoj novih modela koji će pružiti potrebnu podršku odlučivanju. Modeli bi pomogli prilikom planiranja logističkih aktivnosti u regularnim okolnostima ali i prilikom brzog donošenja odluka i prilagođavanja u situacijama kada dođe do poremećaja. Razvijeni modeli u disertaciji imaju i teorijsko-istraživački i praktični značaj.

1.2 PREDMET I NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja u ovoj disertaciji je sistem odlučivanja na području poslovne logistike u različitim kompanijama i lancima snabdevanja. U fokusu istraživanja su procesi logistike nabavke i logistike distribucije, odnosno modeli i alati koji se koriste ili se mogu koristiti, kao podrška sistemu odlučivanja na različitim nivoima i u različitim uslovima. Poslovnu logistiku kao značajno područje lanca snabdevanja karakteriše vrlo kompleksna struktura, sa velikim brojem učesnika i međusobno povezanih i uslovljenih aktivnosti. Kompleksan je i proces donošenja odluka, koje se mogu podeliti na strateške, taktičke i operativne. Pod strateškim odlukama podrazumevaju se odluke koje se odnose na: logističke mreže nabavke i distribucije, primenjene strategije snabdevanja, lokacijski raspored logističkih i distributivnih centara, dugoročne planove razvoja i sl. Taktičke odluke se odnose na upravljanje materijalnim tokovima, upravljanje zalihama, određivanje veličine isporuke, i dr. Operativne odluke odnose se na sve aktivnosti koje je potrebno izvršiti kako bi se proizvod isporučio krajnjim korisnicima na vreme i kako bi se zadovoljila tražnja (Schmidt i Wilhelm, 2000; Wanke i Zinn, 2004). Radi se o vrlo širokom prostoru odlučivanja i različitim vrstama odluka. Predmet istraživanja u okviru ove disertacije vezan je za određenu klasu zadataka i problema iz domena logistike nabavke i distribucije, sa ciljem da se kroz konkretne alate i modele obezbedi odgovarajuća podrška sistemu odlučivanja. U skladu sa tim, istraživanja su išla u dva pravca. Prvi pravac je istraživanje i pregled rezultata dosadašnjih naučno-istraživačkih radova, a drugi se odnosi na razvoj konkretnih modela odlučivanja. Izabrani su zadaci odlučivanja, koji su od suštinske važnosti za efikasan proces nabavke i distribucije, a za koje ne postoje odgovarajući modeli i alati u raspoloživoj literaturi. Predmet istraživanja u ovoj disertaciji obuhvata:

- analizu dosadašnjih istraživanja, različitih pristupa, modela i alata koji se koriste kao podrška odlučivanju i za rešavanje konkretnih zadataka i problema na području logistike nabavke i logistike distribucije,
- izbor dobavljača i alokaciju porudžbine u procesu nabavke proizvoda,
- uslove isporuke robe u međunarodnoj trgovini,
- distribuciju proizvoda, sa posebnim osvrtom na e-trgovinu,
- izbor rezilijentnih logističkih provajdera u e-trgovini,
- merenje i praćenje indikatora kvaliteta i efikasnosti distribucije i isporuke robe.

Osnovni cilj ove disertacije je da se kreiraju i razvijaju novi modeli koji će obezbediti podršku sistemu odlučivanja na području poslovne logistike. U okviru osnovnog cilja moguće je izdvojiti više naučnih ciljeva kao što su:

- Unapređenje procesa odlučivanja o izboru dobavljača i alokaciji količina koje se poručuju u nabavci.
- Obezbeđenje podrške odlučivanja o izboru uslova isporuke u međunarodnoj trgovini.
- Obezbeđenje podrške sistemu evaluacije i odlučivanja o angažovanju logističkih provajdera na području distribucije robe.
- Obezbeđenje sistema merenja indikatora kvaliteta isporuke robe i efikasnosti procesa distribucije.

1.3 POLAZNE HIPOTEZE

Na osnovu definisanog predmeta i ciljeva istraživanja može se definisati osnovna *polazna hipoteza* da se razvojem i primenom određenih modela i alata mogu značajno unaprediti procesi odlučivanja na području poslovne logistike. Iz ove osnovne hipoteze moguće je izdvojiti sledeće *pomoćne hipoteze*.

Hipoteza H1: Sveobuhvatnim pristupom izboru dobavljača i alokaciji poručenih količina robe moguće je unaprediti proces odlučivanja na području logistike nabavke.

Hipoteza H2: Razvojem modela za ocenu pravila iz Incoterms-a, može se obezbediti odgovarajuća podrška za izbor najpovoljnijih uslova isporuke u međunarodnoj trgovini i logistici.

Hipoteza H3: Novi pristupi i modeli za evaluaciju rezilijentnih logističkih provajdera, mogu unaprediti proces odlučivanja u uslovima izraženih izazova i poremećaja pri isporuci proizvoda u e-trgovini.

Hipoteza H4: Razvojem modela za merenje i praćenje indikatora kvaliteta i efikasnosti isporuke robe, može se obezbediti odgovarajuća podrška sistemu odlučivanja na području distribucije proizvoda.

1.4 OČEKIVANI REZULTATI I DOPRINOSI DISERTACIJE

Očekivani rezultati disertacije vezuju se, pre svega, za ispunjenje postavljenih ciljeva istraživanja i potvrdu postavljenih hipoteza. Kao najvažniji rezultati i *naučni doprinosi* istraživanja u okviru doktorske disertacije mogu se izdvojiti:

1. Model za podršku odlučivanju prilikom izbora dobavljača i alokacije količina koje se poručuju.
2. Model za podršku odlučivanju prilikom izbora uslova isporuke robe u međunarodnoj trgovini.
3. Model za podršku odlučivanju prilikom evaluacije rezilijentnih 4PL provajdera na području isporuke robe u e-trgovini.
4. Model za merenje ispunjenosti OTIF-a i efikasnosti na području distribucije proizvoda.
5. Sistematizacija i pregled različitih naučnih pristupa i rezultata vezanih za proces odlučivanja na području poslovne logistike.

Očekuje se da će predloženi modeli obezbediti odgovarajuću podršku sistemu odlučivanja na području poslovne logistike i imati svoju dalju naučno-istraživačku i praktičnu primenu.

1.5 PRIKAZ SADRŽAJA DOKTORSKE DISERTACIJE

Istraživanja u okviru doktorske disertacije realizovana su kroz nekoliko faza koje odgovaraju okvirnom sadržaju disertacije i obuhvataju:

U prvom poglavlju predstavljeni su motivi za izbor teme, predmet i naučni ciljevi istraživanja, polazne hipoteze, kao i očekivani rezultati i doprinosi disertacije.

U drugom poglavlju izvršen je i predstavljen pregled literature u pogledu problema, metoda, alata i modela koji se koriste na području poslovne logistike, logistike nabavke i logistike distribucije.

U trećem poglavlju razvijen je model za izbor dobavljača i alokaciju porudžbina koji kombinuje DEA i MCDM metode (za izbor efikasnih dobavljača) i linearno programiranje (za alokaciju količina koje se poručuju). Pored toga, utvrđena je veza između postavljenog modela i rezultata, i sprovedena je analiza osetljivosti modela na promenu određenih parametara.

U četvrtom poglavlju razvijen je model za izbor uslova isporuke robe, koji je neizostavan deo međunarodne trgovine. Cilj modela jeste da pruži podršku prilikom izbora adekvatnog pravila isporuke iz Incoterms-a. Pored toga, utvrđena je veza između postavljenog modela i rezultata, i sprovedena je analiza osetljivosti modela na promenu određenih parametara.

U petom poglavlju razvijen je model za evaluaciju 4PL provajdera u e-trgovini. Cilj modela je da pruži podršku prilikom izbora rezilijentnih provajdera i da popuni uočeni *gap* iz literature. Pored toga, utvrđena je veza između postavljenog modela i rezultata, i sprovedena je analiza osetljivosti modela na promenu određenih parametara.

U šestom poglavlju razvijen je model za merenje OTIF-a i efikasnosti distribucije proizvoda. Cilj modela jeste da prilikom procene efikasnosti uzme u obzir i jedan od ključnih parametara kvaliteta isporuke (OTIF), s obzirom da je uočeno da ne postoje takvi modeli u literaturi.

U poslednjem, sedmom poglavlju, izvršena je rekapitulacija najbitnijih rezultata sprovedenih istraživanja, istaknuti su naučni i praktični doprinosi istraživanja, dato je obrazloženje ispunjenosti polaznih hipoteza i ciljeva disertacije i predstavljeni su pravci budućih istraživanja.

2. PREGLED LITERATURE

Dosadašnja istraživanja na području poslovne logistike išla su u različitim pravcima. Uglavnom su bila fokusirana na pojedine oblasti, probleme i zadatke logistike u različitim industrijskim, trgovačkim i uslužnim kompanijama. Poslednjih godina prisutni su radovi koji se bave primenom novih trendova, dostignuća, pristupa, metoda i tehnologija. Tako na primer, Klumpp (2018) se u svom radu bavio automatizacijom i veštačkom inteligencijom (engl. *Artificial Intelligence – AI*) na području poslovne logistike. Zhong et al. (2023) su takođe koristili AI kako bi definisali model baziran na QL-XGB metodi (engl. *Q-Learning algorithm with Extreme Gradient Boosting*). Naime, autori napominju da današnji trendovi koji su prisutni u logistici generišu veliki broj podataka koje je potrebno obraditi u realnom vremenu efikasno i brzo. Kako bi rešili ovaj problem, ali i problem izbora dobavljača i prognoziranja buduće potražnje za proizvodnjom, autori su iskoristili AI kako bi unapredili tradicionalne metode. Marchet et al. (2018) su se u svom radu bavili modelima poslovne logistike u *omni*-kanalnoj distribuciji. Na osnovu 92 odgovora kompanija koje posluju u Italiji, autori su analizirali četiri modela poslovne logistike. *Omni*-kanalna prodaja/distribucija je novi koncept koji je prisutan u praksi. Naime, za razliku od već postojećeg višekanalnog (engl. *Multichannel*) gde se prodaja realizovala putem više kanala (i gde su se samim tim ti kanali međusobno takmičili), kod *omni*-kanalne prodaje sva prodaja se obavlja preko jednog kanala (koji kombinuje sve različite kanale koji su prisutni kod višekanalne prodaje). Merenjem performansi poslovne logistike u kompanijama u Australiji bavili su se Wang et al. (2015). Autori su koristili faktorsku analizu u svom istraživanju, dok su logističke performanse procenjene sa četiri aspekta i to: servis klijenata, procesi isporuke, bezbednost tereta i tačnost informacija.

U skladu sa postavljenim ciljevima i hipotezama, istraživanje naučne literature u ovoj disertaciji usmereno je na određene probleme na području logistike nabavke i logistike distribucije. U narednim izlaganjima dat je pregled najvažnijih rezultata i dostupne literature i naučno istraživačkih radova koji su se bavili rešavanjem tih problema.

2.1 LOGISTIKA NABAVKE

Istraživanja na području logistike nabavke, u prethodnom periodu, išla su u više pravaca, gde su se istraživači bavili: različitim konceptima i modelima nabavke, ocenom tenderske ponude, upravljanjem zalihama, primenom savremenih tehnologija na području nabavke, 3PP partnerstvom, izborom dobavljača, alokacijom poručivanja, izborom uslova isporuke i dr. U narednim izlaganjima dat je kraći osvrt na navedene pravce istraživanja. Detaljnije su analizirani rezultati istraživanja koja su direktno vezana za temu i ciljeve ove disertacije, a odnose se na izbor dobavljača, alokaciju poručivanja i izbor uslova isporuke.

Veći broj naučno istraživačkih radova odnosio se na različite koncepte i modalitete nabavke proizvoda. Tako je Vagstad (2000) u svom radu ispitivao da li se nabavka treba realizovati centralizovano ili decentralizovano. Sa druge strane, Baboli et al. (2011) su u svom radu predložili dva modela, centralizovani i decentralizovani, kako bi utvrdili količinu proizvoda koju je potrebno naručiti kao i trenutke poručivanja farmaceutskih proizvoda. Kanepejs i Kirikova (2018) su izvršili pregled literature kako bi sagledali prednosti i nedostatke oba koncepta (centralizovane i decentralizovane nabavke). Takođe, na osnovu pregleda utvrdili su i različite aspekte ovih koncepata, kao i načine kako se oni mogu kombinovati.

Tenderi i tenderske ponude bile su predmet više naučno istraživačkih radova. Kovács i Bóna (2009) su razvili model višekriterijumskog odlučivanja za ocenu tenderskih ponuda. Pored toga, opisana je kompletna procedura tendera, od pripreme poziva pa sve do prihvatanja ponude. Sličnom problematikom bavili su se i Balm i van Amstel (2018) koji su ispitali kako tenderi za građevinske radove u urbanim područjima mogu pomoći i unaprediti *city* logistiku. Nataraj et al. (2020) su analizirali uticaj primene statističkih i metoda prognoziranja na konkurentnost kompanije koja se prijavljuje na tender. Na osnovu istorijskih podataka i analize vremenskih serija autori su uspeli da prognoziraju logističke troškove u slučaju dugoročne saradnje, kao i cenovne opsege sa kojima se može odgovoriti na tender.

Jedan od koncepata koji je već duže prisutan na području nabavke, kako u literaturi, tako i u praksi jeste upravljanje zalihama od strane dobavljača (engl. *Vendor Managed Inventory – VMI*). Naime, kod ovog koncepta upravljanje zalihama se prepušta dobavljaču, koji vodi računa o nivou zaliha kao i o trenutku poručivanja. Kim i Shin (2019) su u svom radu istraživali optimalnu količinu poručivanja od strane 3PL provajdera u uslovima primene VMI i JIT (engl. *Just in Time*) koncepata. Çomez-Dolgan et al. (2021) su izvršili poređenje VMI i tradicionalnog načina upravljanja zalihama (gde je kupac zadužen za zalihe) u uslovima isporuke sa kašnjenjem. Na osnovu rezultata, došlo se do zaključka da je VMI koncept bolje primeniti kada su vremena isporuke nasumična. Sari (2008) se bavio poređenjem VMI i CPFR (engl. *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment*) koncepata. Ovi koncepti su poređeni sa tradicionalnim, gde je autor na osnovu rezultata istraživanja došao do zaključka da su prednosti CPFR koncepta veće u odnosu na VMI. Algoritam zasnovan na primeni heuristike za rešavanje problema upravljanja zalihama i rutiranja vozila za lakokvarljive proizvode u lancu snabdevanja sa primenom VMI koncepta razvijen je od strane Dai et al. (2020). Utvrđivanjem uspešnosti primene VMI koncepta kao i faktorima koji utiču na uspešnu primenu bavili su se Claassen et al. (2008). Rezultati istraživanja su pokazali da se prednosti primene VMI koncepta prvenstveno ogledaju u boljoj isporuci a ne u smanjenju troškova kako je većina menadžera smatrala. Karimi et al. (2022) su analizirali lanac snabdevanja trgovinskog lanca uz primenu VMI koncepta za optimizaciju isporuke (engl. *service level*), troškova i zaliha.

Primena savremenih tehnologija na području logistike nabavke bila je predmet istraživanja Rejeb et al. (2018). Naime, oni su ispitali mogućnosti i prepreke primene novih tehnologija kao što su *Big Data*, robotika, *Internet of Things*, *blockchain*, pametni ugovori (engl. *smart contracts*), i drugih. Xu et al. (2021) su ispitali mogućnosti primene pametnih ugovora za realizaciju nabavke u različitim industrijama i na osnovu pregleda literature, definisali su mogućnosti i prednosti primene pametnih ugovora u nabavci. Pametni ugovori su povezani sa *blockchain* tehnologijom. Naime, svi entiteti u *blockchain*-u mogu biti upoznati sa sadržinom ugovora ali se on ne može menjati. U ugovoru su definisani uslovi koji se moraju ispuniti kako bi se ugovor realizovao. Onog trenutka kada se svi uslovi ispune, pametni ugovor se sam realizuje. Raj et al. (2022) su predložili platformu za pametne ugovore u lancima snabdevanja koja omogućava automatizaciju, autorizaciju i deljenje informacija između različitih entiteta u lancu snabdevanja. Primenom ovakvih ugovora dobavljači bi se zaštitili, kupci bi mogli lakše da prate proizvode, dok bi 3PL provajderi mogli da smanje troškove smanjenjem dokumentacije i upotrebom softvera za praćenje proizvoda.

Noviji koncept koji je prisutan u literaturi odnosi se na nabavku preko treće strane (engl. *Third-Party Purchase/Procurement - 3PP*). Kod ovog koncepta, nabavka se uglavnom prepušta 3PL provajderu koji to obavlja za svoje klijente. Na ovaj način, 3PL provajderi ujedno i povećavaju sopstvenu konkurentnost, uvođenjem ovakve usluge. Shi et al. (2016a) su ispitali značaj 3PP koncepta iz perspektive korisnika 3PL usluga u Kini. Na osnovu odgovora 242 korisnika 3PL usluga, autori su došli do zaključka da postoji ogroman tržišni potencijal za 3PP uslugu, kao i

da su ispitanici reagovali veoma pozitivno na sam koncept (3PP uslugu). Takođe, autori su zaključili da postoji jako mali rizik za 3PL provajdere prilikom pružanja 3PP usluge s obzirom da nisu potrebne dodatne investicije u opremu. Došlo se do zaključka i da je ovaj koncept pogodniji za robu kod koje je prisutnija manja neizvesnost u potražnji. Nasuprot ovom radu, Shi et al. (2016b) su ispitivali i mišljenje 3PL provajdera u Kini o 3PP konceptu. Naime, autori su izvršili anketiranje 245 3PL provajdera koji posluju na tržištu Kine. Na osnovu rezultata istraživanja došlo se do zaključka da 3PP usluga pruža brojne prednosti. Prvenstveno se to ogleda u nižim troškovima kao i manjem riziku prilikom nabavke. Takođe, korisnicima primena 3PP usluge omogućava da se fokusiraju na primarnu delatnost, ali i omogućava integraciju 3PL provajdera i korisnika primenom savremenih IT rešenja kako bi se smanjili troškovi transakcija i ostvarilo bolje povezivanje unutar lanca snabdevanja. Identična istraživanja sprovedena su i za tržište Novog Zelanda (Shi et al., 2016c; Shi et al., 2017). U okviru istraživanja mišljenja korisnika 3PL usluga o 3PP konceptu, autori su dobili 163 odgovora (Shi et al., 2016c). Rezultati su se donekle poklopili sa rezultatima istraživanja u Kini, s tim da su se pored već pomenutih prednosti primene ovog koncepta u istraživanju sprovedenom na Novom Zelandu izdvojili i sledeći zaključci. Naime, došlo se do zaključka da bi 3PL korisnici trebalo da imaju određeni nivo zaliha kod sebe kako bi mogli da pokriju sve neizvesnosti u potražnji. Takođe, korisnici su zabrinuti da 3PL provajderi ne bi mogli da odrede optimalnu količinu poručivanja prilikom nabavke kako bi smanjili troškove. Rezultati istraživanja koje se odnosilo na 3PL provajdere o 3PP konceptu su pokazali da se verovatnoća razvoja 3PP usluge povećava sa povećanjem neizvesnosti (Shi et al., 2017).

2.1.1 Izbor dobavljača i alokacija poručivanja

Pregledom literature o izboru dobavljača i alokaciji poručivanja mogu se utvrditi brojni pravci istraživanja. Jedan od osnovnih jeste sam izbor dobavljača, gde postoje dve situacije. Prva, kada se celokupna nabavka vrši od jednog dobavljača, i druga kada se nabavka vrši od više različitih dobavljača. U drugom slučaju, neophodno je i odraditi alokaciju poručivanja (kako bi se znalo koje količine je potrebno poručiti od određenog dobavljača). Prilikom izbora dobavljača, pregledom literature došlo se do zaključka da postoji veliki broj metoda koje se koriste za izbor odgovarajućeg dobavljača (DEA, engl. *Analytical Hierarchy Process* - AHP, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* - TOPSIS, *Multiple-Attribute Utility Theory* – MAUT, *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* - PROMETHEE, i dr.). Kada se govori o alokaciji poručivanja, može se konstatovati da postoji jako veliki broj modela koji se mogu grupisati po raznim kriterijumima. Svi modeli se mogu podeliti na sledeće tipove: modeli nabavke jednog proizvoda, modeli nabavke većeg broja proizvoda, modeli jednokratne nabavke, modeli višekratne nabavke, modeli sa jednom funkcijom cilja, modeli sa više funkcija cilja, i dr. (Aouadni et al., 2019). Rezultati istraživanja (Chai i Ngai, 2020) pokazali su da se kao najčešće metode prilikom izbora dobavljača koriste: linearno programiranje, AHP, nelinearno programiranje, mešovito celobrojno programiranje, TOPSIS i ANP (engl. *Analytic Network Process*). U poslednje vreme, sve veći akcenat u literaturi se stavlja na izbor održivog dobavljača (Schramm et al., 2020).

Metode višekriterijumskog odlučivanja (MCDM) se često koriste u rešavanju različitih problema u logistici. Ovi problemi se najčešće odnose na izbor lokacije objekata (logističkih centara, skladišta i sl.), izbor dobavljača, izbor 3PL provajdera, itd. Kombinacija FUCOM i *Rough SAW* (engl. *Simple Additive Weighting*) metoda primenjena je od strane Durmić et al. (2020) da bi se izabrao održivi dobavljač uzimajući u obzir ekonomske, socijalne i ekološke kriterijume. FUCOM metoda je primenjena za određivanje težina kriterijuma dok je *Rough SAW* metoda primenjena za rangiranje varijanti a kako bi se izbegla neizvesnost i netačnost u procesu ocenjivanja. Kako bi se testirala validnost modela izvršena je analiza osetljivosti i to

kroz dve faze. U prvoj fazi su promenjene težine kriterijuma dok su u drugoj fazi rezultati modela upoređeni sa rezultatima primene drugih MCDM metoda. Tirkolae et al., (2020) su predložili novi model baziran na *fuzzy* ANP, *fuzzy* DEMATEL (engl. *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*) i *fuzzy* TOPSIS metodama za izbor pouzdanog i održivog dobavljača. Višestapni hibridni model za izbor dobavljača i alokaciju poručivanja razvijen je od strane Kaur i Singh (2021). Model je baziran na primeni DEA, *fuzzy* AHP, *fuzzy* TOPSIS metoda i modela mešovitog celobrojnog programiranja. Slično, Rezaei et al. (2020) su predložili model baziran na primeni AHP i *fuzzy* AHP metoda za izbor dobavljača i alokaciju poručivanja uzimajući u obzir *Lean* kriterijume.

Pregled literature je pokazao da se pored MCDM metoda u selekciji i optimizaciji koriste i modeli matematičkog programiranja zasnovani na genetskom algoritmu (engl. *Genetic Algorithm - GA*), optimizaciji roja čestica (engl. *Particle Swarm Optimisation - PSO*), itd. Pan (2015) je predložio model optimizacije izbora dobavljača zasnovan na *fuzzy* GA. Rezultati primene predloženog modela pokazali su da je moguće smanjiti ukupne troškove nabavke. Problem izbora dobavljača i alokacije porudžbina je rešavan u radu od strane Moghaddam (2015) u zatvorenom lancu snabdevanja primenom Monte Karlo simulacije i ciljnog programiranja (engl. *goal programming*). Predloženi model predstavlja optimizaciju sa više ciljeva za odabir najboljih dobavljača i konfigurisanje proizvodnih i remontnih objekata sa optimalnim brojem delova i proizvoda u mreži zatvorenog lanca snabdevanja. Funkcije ciljeva u ovom radu su formulisane i odnose se na: ukupni profit, ukupne neispravne delove, ukupno kasno isporučene delove i faktore ekonomskog rizika potencijalnih dobavljača. Rosyidi et al. (2017) su predložili model za izbor dobavljača kako bi se minimizirali troškovi nabavke i sprečio nedostatak kvaliteta. Gheidar-Kheljani et al. (2010) su rešili problem izbora dobavljača u lancu snabdevanja primenom matematičkog programiranja. Većina modela koji su prisutni u literaturi uglavnom razmatra i bavi se samo optimizacijom troškova kupca, ne i prodavca. Iz tog razloga, autori su nastojali da predlože model koji bi uzeo u obzir troškove obe strane. Funkcija cilja je da minimizira ukupne troškove lanca snabdevanja, gde se pod ukupnim troškovima lanca snabdevanja smatraju troškovi kupca i dobavljača. U modelu je pretpostavljeno da nakon naručivanja, dobavljač deli porudžbinu na manje veličine i isporučuje ih tokom određenog vremenskog perioda. Masi et al. (2013) su razvili meta-model za izbor dobavljača u okviru kompanije za inženjering, nabavku i izgradnju (engl. *engineering, procurement and construction - EPC*). Choudhary i Shankar (2013) su predložili model celobrojnog linearnog programiranja za određivanje vremena naručivanja, veličine porudžbine, izbor dobavljača i izbor transporta koji će biti odabrani uz minimalne troškove. Autori su smatrali da istovremeno donošenje odluka o prethodno navedenim problemima može smanjiti troškove nabavke, ukupne logističke troškove, i troškove transporta kupca ali i smanjiti poremećaje u lancu snabdevanja kao što su zakasnele ili odbijene isporuke. Firouzi i Jadidi (2021) su u svom radu razvili model za izbor dobavljača i problem alokacije porudžbina.

2.1.2 Uslovi isporuke robe u međunarodnoj trgovini

Kada je u pitanju pregled prethodnih istraživanja vezanih za uslove isporuke robe u međunarodnoj trgovini, onda se prvenstveno misli na naučno-istraživačke radove koji se bave pravilima za tumačenje uslova isporuke iz Incoterms-a. Ovu problematiku je istraživao veći broj autora, sa različitih aspekata, kao što su: analiza zastupljenosti pojedinih uslova u uvoznim i izvoznim tokovima; faktori i kriterijumi za izbor uslova isporuke; analiza rizika u kontekstu primene određenih uslova isporuke, uticaj uslova isporuke na finalne cene proizvoda, međunarodnu trgovinu, logističke performanse i strateške alijanse.

Utjecajem Incoterms 2020 pravila isporuke na razvoj međunarodne trgovine u Uzbekistanu bavili su se Miltikbaevich i Kizi (2021). Na osnovu rezultata istraživanja došlo se do zaključka da se CIP (engl. *Carriage and Insurance Paid To*), DAP (engl. *Delivered at Place Unloaded*) i CPT (engl. *Carriage Paid To*) pravila najviše koriste prilikom uvoza, dok se FCA (engl. *Free Carrier*), DAP i CPT pravila najviše koriste prilikom izvoza. Sa druge strane, Stapleton et al. (2014) su se bavili analizom primene EXW (engl. *Ex Works*), FOB (engl. *Free on Board*) i FCA pravila isporuke iz perspektive pomorskih kompanija. Stojanović et al. (2018) su ispitivali izbor određenih pravila isporuke prilikom trgovine sa susednim zemljama. Cilj je bio da se odrede sličnosti i specifičnosti prilikom izbora pravila iz Incoterms-a.

Oktafiana et al. (2022) su se sa druge strane bavili analizom izbora uslova isporuke iz Incoterms-a i angažovanjem 3PL provajdera za realizaciju uvoznih/izvoznih procedura. Na osnovu rezultata sprovedenog istraživanja, došli su do zaključka da angažovanje 3PL provajdera može pozitivno uticati na efikasnost uvoznih/izvoznih procedura, ali i smanjiti rizike, troškove i povećati efikasnost uvoza/izvoza. Soga (2021) se u svom radu bavio faktorima koji utiču na izbor Incoterms pravila isporuke primenom statističke analize. Prilikom analize, razmatrani su samo FOB, CFR (engl. *Cost and Freight*) i CIF (engl. *Cost, Insurance and Freight*) pravila isporuke. Na osnovu sprovedenog istraživanja utvrđeno je da se industrija, nacionalnost izvoznika, nacionalnost uvoznika, i međunarodno iskustvo izdvajaju kao najznačajniji faktori prilikom izbora. Takođe, rezultati su pokazali i da su karakteristike kompanije takođe bitne prilikom izbora. Hajdukiewicz i Pera (2021) su se bavili faktorima koji utiču na izbor pravila isporuke iz Incoterms-a u kompanijama u Poljskoj. EXW, DAP, CIF i FCA su pravila isporuke koja se najčešće koriste prilikom izvoza pokazali su rezultati istraživanja. Sa druge strane, prilikom uvoza, DAP, FOB i CIF su pravila isporuke koja se najčešće koriste. Faktori koji su ispitivani podeljeni su na eksterne i interne. Kao najvažniji eksterni faktori izdvojili su se: pravna regulativa na inostranom tržištu i udaljenost između kupca i prodavca, troškovi transporta i špediterskih usluga, postojanje infrastrukture i rizici na inostranom tržištu. Sa druge strane, što se internih faktora tiče, kao najznačajniji izdvojili su se: troškovi transporta i skladištenja, odnosi sa ino-partnerom, način plaćanja i vid transporta. Utvrđivanjem faktora koji utiču na izbor pravila isporuke bavili su se i Hien et al. (2009). Naime, oni su u svom radu istraživali koji faktori su presudni prilikom donošenja odluke o pravilu isporuke. Pored toga, cilj rada bio je i da se utvrdi uticaj Incoterms pravila na performanse izvoza. Del Rosal (2016) je istraživao koji faktori utiču na izbor pravila isporuke iz Incoterms-a u Španiji. Rezultati istraživanja su pokazali da nekoliko faktora ima uticaja na izbor pravila isporuke koji uključuje pomorski transport. Ti faktori su: odnos težine/vrednosti robe, udaljenost između Španije i ino-partnera i prihod po glavi stanovnika. Yang (2021) se u svom radu bavio istraživanjem kriterijuma koji utiču na izbor pravila isporuke iz Incoterms-a kako bi se moglo upravljati logističkim procesima na efikasan način. Na osnovu rezultata, može se zaključiti da su sledeći kriterijumi najznačajniji: karakteristike robe, infrastruktura, obim transakcija, operativni troškovi, carinske procedure i porez. Faktorima koji utiču na izbor pravila isporuke iz Incoterms-a bavili su se i Yaakub i Szu (2017). Naime, oni su istraživali koji sve faktori utiču na izbor kod proizvođača iz Malezije. Autori su poslali 335 anketa i dobili odgovor od 60 ispitanika. Na osnovu rezultata, došlo se do zaključka da se FOB pravilo isporuke najčešće koristi, a da se faktori koji utiču na izbor mogu podeliti u dve grupe i to eksterne i interne. Yaakub et al. (2018) su se takođe bavili ispitivanjem faktora koji utiču na izbor ali i uticajem tih faktora na izvozne performanse. Malfliet (2011) se u svom radu bavio istraživanjem kako vid transporta utiče na izbor pravila isporuke. Takođe, u radu su predloženi i kriterijumi koji mogu da se primene kako bi se izvršio izbor pravila isporuke. Detwal et al. (2023) su razvili model baziran na mašinskom učenju (engl. *Machine Learning*) za izbor Incoterms pravila isporuke u farmaceutskom lancu snabdevanja. Pored toga, izvršen je pregled

ključnih faktora koji utiču na odluku o izboru pravila isporuke. Nakon primene, došlo se do zaključka da se model može koristiti i u praksi kako bi se izabralo odgovarajuće pravilo isporuke. Što se ključnih faktora tiče, autori su pokazali da su značajnosti faktora poredane na sledeći način: faktori koji su povezani sa dobavljačem, transportni trošak po kg, vreme, vreme realizacije robnog toka, vrsta robe i podklasifikacija robe. Suraraksa et al. (2020) su se u svom radu bavili razvojem modela za izbor pravila isporuke iz Incoterms-a za proizvođače auto delova u Tajlandu. Autori su prvo analizirali faktore koji utiču na izbor nakon čega su primenili AHP metodu kako bi izvršili rangiranje faktora po značajnosti. Nakon primene ove metode, operativni troškovi, kooperacija i pregovaračka snaga, poznavanje i razumevanje pravila i vreme realizacije su se izdvojili kao najznačajniji kriterijumi. Što se varijanti tiče, posmatrano je 4 Incoterms pravila i to: EXW, FOB, FCA i CIF. Nakon primene predloženog modela, najbolje rangirano pravilo bilo je FCA. Sličnu metodologiju primenili su i Unal i Metin (2021). Naime, oni su primenili *fuzzy* AHP metodu kako bi utvrdili da li se faktori izbora Incoterms pravila isporuke razlikuju kod uvoznika u odnosu na izvoznike. Rezultati istraživanja su pokazali da su transportni troškovi najznačajniji faktor i za uvoznike i za izvoznike. Sa druge strane, faktori kao što su: odnosi sa špediterom, vrsta robe, kompleksnost transporta i udaljenost imaju različit značaj kada se posmatraju izvoznici u odnosu na uvoznike.

Davis i Vogt (2021a) su se u svom radu bavili analizom rizika prilikom primene Incoterms pravila isporuke. Naime, autori su sprovedli istraživanje o analizi rizika u lancima snabdevanja kroz anketno istraživanje koje je obuhvatilo 100 donosioca odluka u lancima snabdevanja, a koja se odnose na ugovore i primenu Incoterms-a. Nakon ispitivanja, primenili su FMEA (engl. *Failure Modes and Effects Analysis*) metodu koja je pokazala da postoje brojni rizici za kompaniju i to finansijske, operativne, ali i pravne prirode. Na osnovu rezultata istraživanja došlo se do zaključka da se uslovi isporuke Incoterms slabo poznaju u praksi, i da se često definišu od strane zaposlenih koji nisu svesni uticaja njihovog izbora te se kao posledica definišu ili pogrešni uslovi isporuke ili oni koji nisu strateški za kompaniju, čime se utiče na povećanje rizika i troškova. Sličnom problematikom bavili su se i Bergami i Ticha (2022) koji su u svom radu takođe analizirali rizike i strategije koje se mogu primeniti kako bi se smanjila izloženost riziku kompanija koje se bave izvozom. Na osnovu rezultata istraživanja, autori su došli do zaključka da bi izvoznici trebali da usvoje sistem za upravljanje rizicima kako bi smanjili što je više moguće rizike koji su povezani sa izvozom robe.

Cilj rada (Kumar, 2010) bio je da utvrdi optimalnu kombinaciju vidova transporta kako bi se smanjile oscilacije u vremenu realizacije robnog toka ali i kako bi se ostvarile finansijske koristi od strane trgovinskih kompanija kroz primenu odgovarajućeg pravila isporuke. Uticaj Incoterms pravila isporuke na finalnu cenu proizvoda istraživali su Ceran et al. (2013). Naime, autori su posmatrali tokove između Turske i Rusije, i tokove između Turske i Brazila kako bi utvrdili uticaj određenih pravila isporuke na finalnu cenu proizvoda. Klasifikacijom i modeliranjem nelinearnosti u ceni robe primenom Incoterms-a bavio se Fahmy (2019). Sugiono et al. (2022) su se u svom radu bavili utvrđivanjem uticaja nepredvidivosti okruženja i Incoterms-a na strateške alijanse u Indoneziji. Kako bi došli do rezultata, autori su izvršili anketiranje 50 špediterskih kompanija. Davis i Vogt (2021b) su u ovom radu dali kritički osvrt na trenutnu verziju Incoterms-a 2020 kao i predlog za njihovo unapređenje u sledećoj verziji. Slično njima, i Durdag i Delipinar (2020) su se bavili analizom prethodnih verzija Incoterms pravila, ali i analizom kako sadašnji izazovi u logistici mogu da utiču na buduće verzije Incoterms-a. Baena-Rojas i Cano (2022) su u svom radu definisali formule za izračunavanje troškova i cena proizvoda u međunarodnoj trgovini prilikom primene Incoterms-a. Stojanović i Ivetić (2020b) su u svom radu ispitivale odnos između indeksa logističkih performansi (engl. *Logistics Performance Index – LPI*) i deljenja obaveza povezanim sa logističkim uslugama prilikom dostave u međunarodnim kupoprodajnim ugovorima. Pored toga, u drugom radu

Stojanović i Ivetić (2020a) su se bavile istraživanjem primene Incoterms pravila isporuke u proceni logističkih performansi zemlje ali i za *benčmark*.

2.2 LOGISTIKA DISTRIBUCIJE

Pregledom literature ustanovljeno je da postoji veliki broj naučno-istraživačkih radova koji se bave rešavanjem različitih zadataka i problema na području distribucije proizvoda, kao što su: dizajniranje distributivne mreže; izbor kanala distribucije; lociranje logističkih centara i sistema; centralizovana ili decentralizovana distribucija; rutiranje i izbor transportnih sredstava; upravljanje zalihama i primena *Lean-a*; emisija štetnih materija; zadovoljstvo potrošača; primena savremenih tehnologija, i dr. U narednim izlaganjima ukratko su predstavljeni najvažniji rezultati istraživanja navedenih problema. Detaljnije su obrađena istraživanja koja su, poslednjih godina, vrlo aktuelna i značajna, a direktno su vezana za temu i ciljeve ove disertacije. Ovo se pre svega odnosi na: distribuciju u e-trgovini, otpornost distributivnih sistema i lanaca snabdevanja; evaluaciju i izbor rezilijentnih logističkih provajdera; ispunjenje OTIF-a uz efikasno korišćenje resursa.

Zhang et al. (2022b) su rešavali problem dizajniranja distributivne mreže iz perspektive 4PL provajdera. Kako bi rešili definisan problem, autori su primenili novi model mešovitog celobrojnog nelinearnog programiranja sa ciljem maksimizacije zadovoljstva korisnika uzimajući u obzir investicioni budžet i nivo usluge. Sličnim problemom bavili su se i Eskigun et al. (2005), koji su u svom radu rešavali problem dizajniranja mreže lanca snabdevanja. Tom prilikom, autori su uzeli u obzir vreme realizacije, lokaciju distributivnih centara, kao i izbor vida transporta. Predloženi model je potom testiran na realnim podacima kako bi se videlo kako će se lanac snabdevanja ponašati u različitim okolnostima. Sa druge strane, Gong et al. (2017) su predložili model višestruke optimizacije za izbor vida transporta prilikom definisanja mreže zelenog lanca snabdevanja. U radu je razmatrano četiri vida transporta i to: drumski, železnički, vazdušni i pomorski.

Fuzzy AHP metoda je primenjena od strane Serbest i Vayvay (2008) za izbor kanala distribucije u Turskoj. Izbor kanala distribucije za potrebe proizvođača koji prodaju vrši preko hibridne *online* platforme bio je predmet rada i Luo et al. (2022). Anđelković i Radosavljević (2020) su se bavile utvrđivanjem uticaja dužine kanala distribucije na njegovu efikasnost. Cilj je bio da se odrede faktori koji utiču na dizajniranje kanala distribucije u pogledu dužine, sa ciljem da se utiče na njegovu efikasnost. Takođe, autori su naveli prednosti i nedostatke kraćih ali i dužih kanala distribucije. Izborom kanala distribucije bavili su se i Andrejić et al. (2023), primenom nove metodologije bazirane na primeni FUCOM-ADAM (engl. *Axial-Distance-Based Aggregated Measurement*) metoda.

Cui et al. (2023) su u svom radu rešavali problem lociranja distributivnog centra. Cilj rada je bio da se izabere optimalna lokacija uz smanjenje operativnih troškova u situaciji neizvesne potražnje. Ayadi et al. (2021) su primenili *fuzzy* FUCOM metod za određivanje težina kriterijuma i podkriterijuma, a zatim su primenili *fuzzy* MAIRCA (engl. *Multi-Attribute Ideal-Real Comparative Assessment - F-MAIRCA*) metodu i metodu *fuzzy* PROMETHEE (F-PROMETHEE) za rangiranje lokacija logističke platforme. Pored toga, autori su izvršili i analizu osetljivosti kako bi potvrdili robusnost predloženog modela. Ulutas et al. (2020) su u svom radu primenili *fuzzy* SWARA (engl. *Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis*) i CoCoSo metode za rešavanje problema izbora lokacije logističkog centra. Prilikom vrednovanja koristili su 11 kriterijuma. *Fuzzy* SWARA metoda je primenjena za određivanje težine kriterijuma dok je CoCoSo metoda primenjena za rangiranje varijanti. Dobijeni rezultati su potom upoređeni sa drugim MCDM metodama (engl. *Complex Proportional Assessment -*

COPRAS, VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje - VIKOR, *Additive Ratio Assessment* - ARAS, *Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis* - MOORA, i MABAC) kako bi se potvrdila tačnost rezultata dobijenih primenom CoCoSo metode. Sličnim problemom bavili su se i Yazdani et al. (2020) koji su razvili dvofazni model odlučivanja koji se sastoji od primene DEA metode u prvoj fazi, i primene R-FUCOM i R-CoCoSo metoda u drugoj fazi. Za identifikaciju efikasnih i neefikasnih varijanti primenjena je DEA metoda sa pet parametara, dok su u drugoj fazi primenjene metode za određivanje težina kriterijuma (R-FUCOM) i rangiranje efikasnih varijanti (R-CoCoSo). Primenom ovih metoda, model omogućava sagledavanje neizvesnosti i nejasnoća u proceni od strane donosioca odluka koji učestvuju u procesu evaluacije.

Liu et al. (2018) su ispitivali kako veličina tržišta utiče na optimalnu količinu i kvalitet proizvoda u cilju izbora strategije distribucije. Naime, autori su ispitivali kada je pogodnije koristiti centralizovanu a kada decentralizovanu distribuciju. Poređenje ove dve strategije distribucije razmatrali su i Singha et al. (2015) koji su poredili način upravljanja zalihama u slučaju centralizovane i decentralizovane distribucije uzimajući u obzir propuštenu prodaju. Sličnom problematikom bavio se i Milewski (2020) koji je ispitivao ukupne troškove centralizovane i decentralizovane distribucije uzimajući u obzir i eksterne troškove logističkih procesa (pre svega, transporta).

Problem dinamičkog rutiranja vozila u situacijama određene i neočekivane dostupnosti korisnika je rešavan u radu Kucharska (2019). Liu et al. (2023) su predložili algoritam za rutiranje vozila u procesu distribucije koji u obzir uzima postojanje vremenskog okvira u kojem je potrebno odraditi dostavu. Zhang et al. (2020) su predložili model baziran na primeni modifikovanog GA algoritma (engl. *Nondominated Sorting Genetic Algorithm Version II* (NSGA-II)) koji u obzir uzima dve funkcije cilja i to: ukupne troškove i zadovoljstvo korisnika.

Model za upravljanje zalihama predložen je od strane Granillo-Macías (2020). Naime, autor je definisao model uzimajući u obzir frekventnost komisioniranja, potrošnju proizvoda i kvalitativne karakteristike koje se odnose na rukovanje proizvodom. Sličnim problemom bavili su se i Vukasović et al. (2021) koji su razvili novi *fuzzy* model višekriterijumskog odlučivanja baziran na *fuzzy* FUCOM i *fuzzy* EDAS (engl. *Evaluation based on Distance from Average Solution*) metodama za upravljanje zalihama u cilju unapređenja efikasnosti poslovanja. Predloženi model je korišćen kako bi se izvršilo sortiranje 78 proizvoda koristeći četiri kriterijuma: količina, cena proizvoda, godišnji troškovi nabavke i tražnja. Berk et al. (2023) su predložili model upravljanja zalihama u lancu snabdevanja koji kroz model uključuje unapređenje procesa primenom *Lean* metodologije. Cilj modela bio je da se na što je moguće bolji način iskoristi vezani kapital, kao i radna snaga. Slično, Abushaikha et al. (2018) su takođe ispitivali kako smanjenje gubitaka u skladišnim procesima utiče na performanse samog skladišta ali i distribucije primenom *Lean*-a. Kako bi došli do rezultata, autori su primenili *Delphi* upitnik u prvoj fazi, dok su u drugoj fazi iskoristili ovaj upitnik kako bi izmerili smanjenje gubitaka u određenim skladišnim aktivnostima. Kao što se i očekivalo, rezultati su pokazali da postoji veza između smanjenja gubitaka i operativnih performansi skladišta, kao i između smanjenja gubitaka i performansi distribucije.

Ren et al. (2023) su razvili model za optimizaciju procesa distribucije uzimajući u obzir emisiju gasova i zadovoljstvo kupaca. Kako bi rešili postavljeni model, autori su primenili unapređenu verziju algoritma kolonije mrava (engl. *Ant Colony Algorithm*). Unapređenjem procesa distribucije bavili su se i Cano et al. (2021), koji su u svom radu ispitivali uticaj primene savremenih tehnologija, kao što je sistem upravljanja transportom (engl. *Transport Management System – TMS*) na ostvarivanje ciljeva kompanije. Kako bi došli do rezultata, autori su primenili DMAIC (engl. *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*)

metodologiju. Na osnovu rezultata, došlo se do zaključka da primena TMS-a dovodi do smanjenja: varijacija u vremenu isporuke, vremena obrade porudžbine, troškova distribucije, kao i do povećanja kvaliteta pružene usluge i efikasnosti samog procesa distribucije. Dujmešić et al. (2018) su ispitivali uticaj primene tehnologije glasovnog komisioniranja (engl. *Pick by Voice*) na unapređenje skladišnih procesa. Ovu tehnologiju su poredili sa klasičnim načinom komisioniranja (primenom RF uređaja). Poređenje je izvršeno u odnosu na produktivnost komisionera, tačnost komisioniranja, kao i potrebno vreme za obuku komisionera. Atieh et al. (2016) su se bavili uticajem sistema upravljanja skladištem na lanac snabdevanja. Autori su na osnovu procesa koji se odvijaju u skladištu kreirali softver kako bi unapredili odvijanje procesa čime se omogućava efikasna i pravovremena manipulacija sa robom. Izborom RFID (engl. *Radio Frequency Identification*) rešenja u lancu snabdevanja bavili su se Kilibarda et al. (2022).

2.2.1 Distribucija u e-trgovini

Kada je reč o logistici i distribuciji proizvoda u e-trgovini, u literaturi se pojavljuju četiri glavna aspekta: planiranje lanca snabdevanja (LS) i logističke mreže, strategije otpremne i povratne logistike, aktivnosti skladištenja i IT i logistički podaci povezani sa e-trgovinom (Zennaro et al., 2022). Veoma važno pitanje je kako dopreti do kupaca na najefikasniji način: višekanalno, *omni*-kanalno ili preko e-trgovine. Za konfiguraciju LS u kontekstu e-trgovine koriste se različite metodologije i modeli (Govindarajan et al., 2021) gde postoje brojni radovi koji se bave lociranjem objekata (Baglio et al., 2019).

Sledeće veoma važno pitanje logistike i e-trgovine je izlazna logistika. Izlazna logistika u e-trgovini odnosi se na kretanje i skladištenje proizvoda od kompanije do kupaca. Postoji nekoliko glavnih istraživačkih pravaca u ovoj oblasti, koji se mogu grupisati u sledeće kategorije: logistika poslednje milje; problem rutiranja vozila (engl. *Vehicle Routing Problem - VRP*); autorsovanje usluga logističkim provajderima (3PL); fenomen udruživanja logistike od strane različitih kompanija; uticaj transporta na životnu sredinu; novi trendovi i tehnologije i proces pakovanja (Zennaro et al., 2022).

Povratna logistika je proces upravljanja povratom robe od potrošača prodavcu ili proizvođaču. Ovo može uključivati transport, skladištenje i odlaganje vraćenih proizvoda. Povratna logistika je važan aspekt lanca snabdevanja, jer može uticati na troškove i efikasnost poslovanja. Studija (Stock et al., 2009), je otkrila da efikasno upravljanje povratnom logistikom može imati pozitivan uticaj na profitabilnost i konkurentnost kompanije. Ovo se može postići smanjenjem troškova, višom stopom popravke proizvoda i boljom isporukom (*service level*).

Skladištenje je ključna komponenta lanca snabdevanja i uključuje privremeno skladištenje robe između dve uzastopne faze, kao npr. između proizvođača i prodavca. Skladištenje igra ključnu ulogu u obezbeđivanju nesmetanog protoka robe kroz lanac snabdevanja. Izgled (engl. *layout*) i upravljanje skladištem imaju ključnu ulogu u efikasnosti i efektivnosti logističkih procesa. Efikasan *layout* skladišta može pomoći da se pojednostave procesi, smanji zamor zaposlenih i poboljša nivo usluga za korisnike. Najvažnija pitanja u literaturi koja su povezana sa e-trgovinom su izbor strategije komisioniranja porudžbina, nivo automatizacije i performanse skladišta (Melacini et al., 2018; De Koster et al., 2017).

IT e-trgovine i upravljanje podacima (engl. *E-commerce IT - E-IT and data management*) se odnosi na upotrebu informacionih tehnologija i upravljanje podacima za podršku operacijama e-trgovine. E-IT može da obezbedi brojne prednosti za kompanije, niže cene robe i usluga, mogućnost poređenja proizvoda različitih dobavljača i lak pristup širokom spektru dobavljača bilo kada i bilo gde (White et al., 2014). Rast e-trgovine doveo je do povećanja značaja

logističkih informacionih sistema (engl. *Logistics Information Systems - LIS*) i informacionih sistema u lancu snabdevanja. Ovi sistemi se koriste za upravljanje i optimizaciju toka informacija unutar logističkih procesa i kroz sam lanac snabdevanja. Integracija LIS-a i informacionih sistema u lancu snabdevanja može pomoći logističkim kompanijama da poboljšaju efikasnost i efektivnost svojih procesa pružanjem podataka u realnom vremenu o nivoima zaliha, rasporedu transporta i drugim ključnim logističkim procesima.

Pored navedenog, veoma je važan i aspekt kvaliteta usluge i zadovoljstva korisnika (Kilibarda et al., 2020). Vasić et al. (2020) su ispitali uticaj dimenzija logističkih usluga na zadovoljstvo potrošača u elektronskoj trgovini. Abdirad i Krishnan (2022) su ispitali uticaj e-lanca snabdevanja na kvalitet usluge (engl. *service quality – SQ*) i zadovoljstvo korisnika (engl. *customer satisfaction - CS*). Na osnovu dobijenih rezultata autori su zaključili da e-upravljanje lancem snabdevanja (engl. *e-supply Chain Management - E-SCM*) ima direktan uticaj na zadovoljstvo kupaca, dok je takođe identifikovan pozitivan i značajan odnos između E-SCM i CS, E-SCM i SQ, kao i kod SQ i CS. Ngah et al. (2021) u svom radu su identifikovali faktore koji utiču na zadovoljstvo i ponovno korišćenje 3PL usluga među *online* prodavcima u Maleziji.

Dimenzije održivosti (ekonomske, društvene i ekološke) u elektronskoj trgovini i logistici su takođe prepoznate u literaturi. Autori (Cano et al., 2022) su identifikovali trendove kao što su tehnološki razvoj uključujući električna vozila i specijalizovane softvere, *crowd* otpremu, paketomate, mikro-skladišta i dr.

2.2.2 Rezilijentnost distributivnih sistema i lanaca snabdevanja

U literaturi se mogu naći različita tumačenja koncepta rezilijentnosti. Određeni autori definišu rezilijentnost kao sposobnost sistema da se oporavi od poremećaja i vanrednih događaja (Blackhurst et al., 2011), u prihvatljivom vremenskom okviru (Ralston i Blackhurst, 2020). Druga definicija govori da rezilijentnost znači sposobnost kompanije da izdrži poremećaje i uspešno se oporavi (Park et al., 2022). Treće, prošireno tumačenje navodi da je to sposobnost kompanije da izdrži poremećaje i vrati se u prvobitno stanje kada poremećaji prođu (Sheffi i Rice Jr., 2005) ili pređe u novo željeno stanje (Hohenstein et al., 2015). Nedavna istraživanja navode da odgovor na poremećaje i oporavak zahtevaju restrukturiranje, adaptaciju ili rekonfiguraciju mreže lanca snabdevanja (Zhao et al., 2019; Dolgui et al., 2018). Analizu obavljanja podataka (DEA) primenili su Pourhejazy et al. (2017) za procenu rezilijentnosti mreže lanca snabdevanja. Um i Han (2020) su u svom radu istraživali odnose između rizika globalnog lanca snabdevanja, rezilijentnosti lanca snabdevanja i strategija ublažavanja rizika.

Zhang et al. (2022c) navode da su poslednjih godina postignuti značajni rezultati u proučavanju rezilijentnosti lanca snabdevanja proizvoda, s tim da nisu uzeli u razmatranje aspekt dostupnosti logističkih usluga. Navode da je nabavka logističkih usluga bazirana na kapacitetima i dosta se razlikuje od ponude proizvoda, što značajno utiče na uspostavljanje i jačanje saradnje u lancu snabdevanja. Autori su razmatrali tri entiteta i to: vladu, proizvođača i integratora i primenili teoriju igara da analiziraju rezilijentno donošenje odluka učesnika, kako bi postigli optimalni učinak pod ograničenom racionalnošću. Delić et al. (2020) su ispitali uticaj rezilijentnosti lanca snabdevanja na performanse lanca snabdevanja. Da bi se dizajnirao rezilijentan lanac snabdevanja u uslovima cenovne konkurencije i poremećaja, korišćen je pristup Stakelbergove igre (Taleizadeh et al., 2020). Sa druge strane, teoretski model saradnje javnog i privatnog sektora u vanrednim situacijama razvili su Diehlmann et al., (2021).

Wieland i Durach (2021), su primenili interdisciplinarni pristup razumevanju rezilijentnosti lanca snabdevanja uvođenjem dve perspektive rezilijentnosti: inženjerske i socio-ekološke. Iz

prve perspektive, lanac snabdevanja se posmatra kao zatvoreni inženjerski sistem, gde se traži optimizacija, brz odgovor na poremećaje i što kraće vreme oporavka. Druga perspektiva posmatra lanac snabdevanja kao otvoreni sistem sa velikim uticajima iz okruženja, koji se menja tokom vremena i teži da se transformiše i prilagođava. Novak et al. (2021) posmatraju lanac snabdevanja kao složen sistem sa velikim brojem učesnika koji direktno utiču na rezilijentnost.

Iz perspektive ove disertacije, posebno su značajni radovi koji se bave rezilijentnošću logističkih provajdera, kao ključnih organizatora lanca snabdevanja. Na primer, ističe se da LSP igraju važnu ulogu u rezilijentnosti, kroz njihovu integraciju i saradnju duž globalnog lanca snabdevanja (Panayides i So, 2005). S druge strane, poremećaji u lancu snabdevanja imaju značajan uticaj na rezilijentnost i rad LSP-a (Wilson, 2020). Chen et al. (2013) ističu značaj modeliranja i poboljšanja elastičnosti u oblasti isporuke ekspresnih pošiljaka, koje su najosetljivije na rokove. Shoja et al. (2019) su razvili model mešovito celobrojnog linearnog programiranja za analiziranje efikasnosti različitih vidova isporuke koji utiču na rezilijentnost celog lanca snabdevanja. Carvalho et al. (2018) su razmatrali uticaj štrajka u luci na rezilijentnost i učinak LSP-ova. Iyengar et al. (2021) je istraživao rezilijentnost malih preduzetnika na dnu piramide. Herold et al. (2021) istraživali su o tome kako su logistički provajderi uspeli da održe rezilijentnost lanca snabdevanja prilikom suočavanja sa COVID-19 pandemijom. Ovi autori tvrde da rezilijentnost lanca snabdevanja direktno zavisi od rezilijentnosti LSP-a. LSP ima značajan uticaj u eliminisanju ili smanjenju rizika koji proističu iz nestabilne potražnje, ponude ili potražnje za hitnim isporukama (König i Spinler, 2016). Liu i Lee (2018) tvrde da integracija učesnika, koju obezbeđuju 3PL provajderi, značajno povećava rezilijentnost lanca snabdevanja. I ranjivost u logističkom outsourcing-u je takođe istražena (König i Spinler, 2016; Liu i Lee, 2018). Ovo je bila dodatna motivacija za definisanjem modela koji bi pružio podršku prilikom odlučivanja u ovakvim situacijama a i kako bi se doprinelo aktuelnoj literaturi.

2.2.3 Evaluacija i izbor 4PL provajdera

U ovom delu izvršen je pregled literature u vezi sa evaluacijom i izborom 4PL provajdera. Pregledom literature ustanovljeno je da postoji veći broj radova koji se bave evaluacijom i izborom 3PL provajdera ali da postoji manji broj radova koji se bave evaluacijom i izborom 4PL provajdera. Aydin et al. (2022) su u svom radu predložili MCDM metodologiju za procenu performansi 4PL provajdera. Autori su definisali lingvističku skalu koju su stručnjaci koristili da bi procenili performanse 4PL provajdera. Bhatti et al. (2010) su primenili Tagučijevu funkciju gubitka da bi predložili model za izbor 3PL provajdera od strane 4PL-a. Caglar i Aydin (2020) su u svom radu ispitivali ulogu i mogućnosti 4PL-a u povećanju agilnosti lanca snabdevanja i performansama kompanije. Na osnovu rezultata zaključeno je da kompanije mogu imati velike koristi ako imaju partnerstvo sa 4PL provajderom. Buyukozkan et al. (2009) su takođe predložili analitički MCDM pristup za procenu različitih modela rada 4PL-a. Ovaj pristup je zasnovan na Čoketovom (engl. *Choquet*) integralu koji se koristi u situaciji kada su na primer dva kriterijuma istovremeno zadovoljena. Yang et al. (2010) razmatrali su problem izbora logističkih partnera. Cilj rada bio je da se predloži model optimizacije izbora logističkog partnera na osnovu poređenja snage svake logističke kompanije i razdvajanja logističke potražnje po regionima. U tu svrhu, autori su razvili model zasnovan na genetskom algoritmu (GA). S druge strane, Zhang et al. (2022b) razvili su novi mešoviti celobrojni nelinearni model programiranja za projektovanje distributivne mreže sa isporukama u više perioda posmatrano iz perspektive 4PL-a. Mali je broj radova koji istražuju otpornost 4PL provajdera, a prisutni se uglavnom bave definisanjem izgleda mreže. Dakle, Huang et al. (2011) su razmatrali problem definisanja izgleda mreže za 4PL provajdera koji uzima u obzir neizvesne poremećaje. Autori

su razvili model optimizacije zasnovan na otpornosti i koristili PSO metodu za rešavanje problema u vezi sa izborom objekata i 3PL dobavljača. Li et al. (2015) su takođe razmatrali problem projektovanja mreže 4PL-a. U svom radu, autori su predložili model optimizacije koji minimizira ukupne troškove uzimajući u obzir ograničenja koja se odnose na otpornost i optimizuje mreže isporuke i povrata istovremeno u više operativnih perioda.

S druge strane, Yazdi et al. (2022) su ispitali kritične faktore uspeha za otpornost lanca snabdevanja u vezi sa izborom pružaoca transportnih usluga. Takođe, oni su predložili pristup zasnovan na metodi najboljeg-najgoreg (engl. *Best-Worst - BWM*) i metodi komparacije graničnih aproksimativnih oblasti (MABAC) da bi rangirali kritične faktore uspeha koji se odnose na otpornost za pružaoce transportnih usluga u nesigurnim okruženjima. Naseem et al. (2021) su razvili pristup zasnovan na kombinaciji sive relacije analize (engl. *Grey Relational Analysis - GRA*) i tehnike za redosled prioriteta prema sličnosti sa idealnim rešenjem (TOPSIS) za izbor najboljeg provajdera logističkih usluga za kompanije koje se bave e-trgovinom.

Problemom odabira 3PL provajdera bavili su se Wen et al. (2019) koji su primenili *fuzzy* CoCoSo metodu kako bi rešili problem izbora 3PL provajdera. Ecer i Pamučar (2020) primenili su *fuzzy Best-Worst* metodu (F-BWM) i *fuzzy* CoCoSo sa Bonferoni funkcijama (CoCoSo'B) za izbor održivog dobavljača u lancu snabdevanja. *Fuzzy* BWM je primenjena za određivanje težina kriterijuma s obzirom da se njenom primenom može bolje modelirati ljudsko razmišljanje. CoCoSo metoda je kombinovana sa Bonferoni funkcijama za rangiranje varijanti s obzirom da omogućava brojne prednosti kao što su: fleksibilno donošenje odluka, eliminisanje uticaja nelogičnih podataka i proveru robusnosti rezultata. *Rough* BWM metodu primenili su Kazemitash et al. (2021) u svom radu za izbor dobavljača u kompanijama za proizvodnju biogoriva. Ova metoda je primenjena i za određivanje težina kriterijuma ali i za rangiranje varijanti (dobavljača). Na osnovu rezultata, došlo se do zaključka da kvalitet ima najveći uticaj na izbor dobavljača. Mishra et al. (2021) su u svom radu predložili model baziran na *fuzzy* CoCoSo metodi za rangiranje održivog 3PL provajdera povratne logistike. Autori su koristili 13 kriterijuma kako bi rangirali 6 3PL provajdera.

2.2.4 Merenje OTIF-a i efikasnosti u distribuciji proizvoda

Pregledom literature utvrđeno je da postoji manji broj radova koji se bave definisanjem i merenjem OTIF-a (engl. *On-Time In-Full*) u procesu distribucije. Siregar et al. (2022) su u svom radu ispitali koji to faktori utiču na operativne performanse i došli su do zaključka da je distribucija ocenjena kao najznačajniji faktor koji između ostalog utiče i na performanse izvoza. Takođe, rezultati istraživanja su pokazali da distribucija ima uticaja i na druge faktore kao što su troškovi, kvalitet, fleksibilnost i usluga. Cilj njihovog rada bio je da se ukaže na potrebu definisanja i merenja OTIF-a kako bi se poboljšale performanse izvoza u Indoneziji. Slično, i u istraživanju sprovedenom u industriji čelika, OTIF je prepoznat kao jedan od ključnih indikatora za merenje performansi logističke usluge (da Silva Moitinho et al., 2019). Istraživanje sprovedeno od strane Godsell i van Hoek (2009) je takođe pokazalo da je izveštavanje i praćenje OTIF-a jako bitno u lancu snabdevanja. Byrne i Heavey (2006) su u svom radu ispitali uticaj deljenja informacija i predviđanja u lancima snabdevanja. Kao jedan od pokazatelja koji su autori koristili je upravo OTIF. Sehgal et al. (2006) su u svom radu razmatrali reinženjering lanca snabdevanja u jednoj kompaniji. Tom prilikom razmatrano je nekoliko pokazatelja, gde je jedan od ključnih bio OTIF. Naime, pre samog reinženjeringa, nivo OTIF-a je bio dosta nizak. Na osnovu rezultata istraživanja došlo se do zaključka da je nivo OTIF-a na kraju povećan za više od 20% i da je OTIF postao jedan od ključnih indikatora korišćenih za unapređenje procesa. Poboljšanjem stepena ispunjenosti OTIF-a bavili su se i Carrillo-Corzo et al. (2020). Autori su primenili alate *Lean*-a (engl. *Single-Minute Exchange*

Of Die - SMED, Kanban, 5S) kako bi se povećao nivo OTIF-a u jednoj kompaniji sa 56% na 63%. Slično, Sanchez et al. (2021) su u svom radu takođe upotreбили alate *Lean*-a (engl. *Value Stream Mapping - VSM, 5S*) za unapređenje ispunjenja OTIF-a u kompaniji koja se bavi proizvodnjom. Nakon primene modela, ostvarene su sledeće uštede: vreme realizacije procesa smanjeno je za 19,12%, dok je pređeni put komisionera takođe smanjen sa 244,5 na 173,5 metara. Sve ove uštede dovele su do povećanja ispunjenosti OTIF-a za čak 44,33%. Primenom LSS (engl. *Lean-Six Sigma*) metodologije, Thomas et al. (2016) uspeli su da unaprede nivo ispunjenosti OTIF-a za 26,5%. Primenom *Lean* alata (*Poka Yoke, 5S*, višekriterijumska ABC analiza, i dr.) autori (Vasquez-Quispe et al., 2023) su ostvarili unapređenje ispunjenosti OT indeksa od 80,73%, IF indeksa od 86,46% i OTIF-a u iznosu od 69,80%. Razvijeni model je primenjen kao pilot projekat i simuliran primenom softvera Arena.

S obzirom da je upravljanje skladištem jedan od ključnih zadataka kada se govori o distribuciji, autori Kolinski i Sliwczynski (2015) su se bavili procenom efikasnosti skladišnih procesa. Kao ključni interni indikatori, prema autorima, izdvojili su se indikator produktivnosti komisionera, iskorišćenost kapaciteta skladišta, indikator prosečnog obrta zaliha i trajanje realizacije komisionih naloga. Sličnom problematikom bavili su se i Martins et al. (2020) koji su ispitivali mogućnosti unapređenja skladišnih procesa u fabrici čepova od plute u Portugalu. Na osnovu mapiranja procesa, autori su mogli da utvrde uzroke (vremena koja ne dodaju vrednost, kao i posledice i uzroke tih posledica, neadekvatno planiranje i *layout*) loše efikasnosti ovog procesa. Živičnjak et al. (2022) su u svom radu izvršili uporednu analizu 3 studije slučaja koje se odnose na skladišne procese. Cilj ove analize bio je da se pokažu sličnosti i razlike u uskim grlima, kao i vremenu trajanja određenih aktivnosti. Unapređenjem efikasnosti skladišta bavili su se i Prasetyawan i Ibrahim (2020). Naime, autori su primenili jedan od alata *Lean*-a, mapiranje toka vrednosti (VSM) kako bi utvrdili potencijalne gubitke u skladišnim procesima. DEA metoda je primenjena od strane Lau (2013) za izračunavanje efikasnosti distribucije u mreži trgovca. Razlog primene ove metode, jeste želja autora da predloži model koji će biti jednostavniji za primenu od standardnih modela linearnog programiranja koji su mnogo kompleksniji i često se koriste prilikom definisanja izgleda distributivne mreže. Liang et al. (2006) su u svom radu predložili nekoliko modela baziranih na DEA metodi za procenu efikasnosti lanaca snabdevanja. Kao i Hwang (2008) su predložili dvofazni DEA model koji unapređuje merenje efikasnosti. Sličnim problemom bavio se i Kao (2009) koji je predložio model za dekompoziciju mrežne efikasnosti baziran na DEA metodi. Dekompozicijom težina i ukupne efikasnosti u dvofaznom DEA modelu bavili su se i Wang et al. (2019). Noughabi et al. (2022) su u svom radu kombinovali DEA metodu sa *fuzzy* okruženjem. Model za rešavanje problema snabdevanja u lancu koji se sastoji od dobavljača, skladišta i korisnika predložen je od strane Belieres et al. (2020). Xin et al. (2022) su predložili model za utvrđivanje efikasnosti 30 provincija u Kini. Cilj modela bio je da se unapredi (optimizuje) odnos ulaza i izlaza modela.

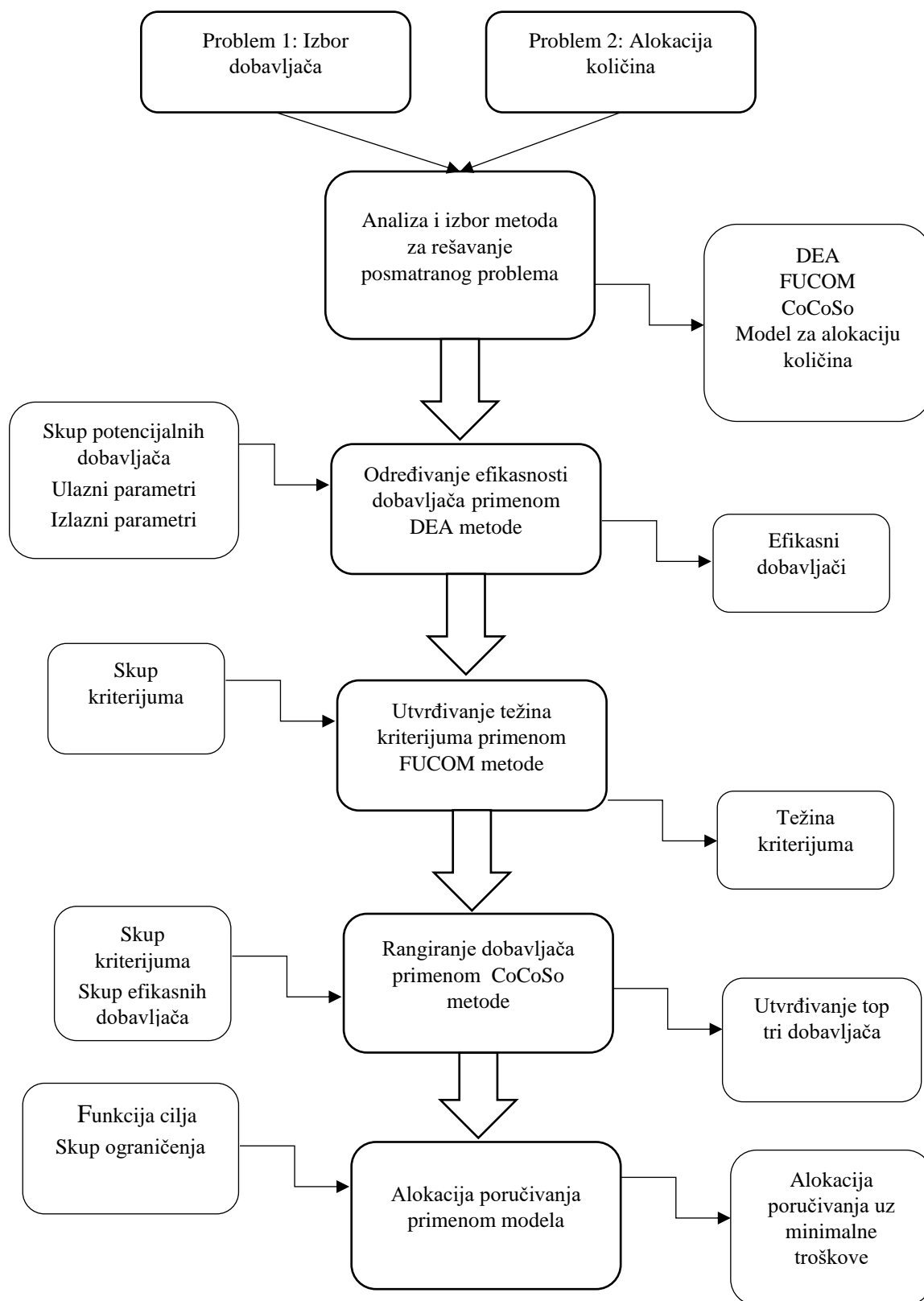
Analiza glavnih komponenti (engl. *Principal Component Analysis - PCA*) je kombinovana sa DEA metodom za merenje globalne logističke efikasnosti (Andrejić i Kilibarda, 2016). U tom radu predložena je metodologija za merenje globalne logističke efikasnosti koja integriše domaće i međunarodne pokazatelje u jedinstvenu meru. PCA metoda je primenjena kako bi se smanjio početni broj indikatora kojih je bilo 15 i to 11 ulaza i 4 izlaza. Hrvatska i Mađarska su se pokazale kao jedine efikasne zemlje nakon primene opisane metodologije. U radu (Andrejić et al., 2016) je takođe primenjena kombinacija PCA i DEA metoda za merenje efikasnosti transporta i za identifikaciju glavnih faktora koji utiču na efikasnost transporta. Broj vozila, troškovi goriva, vreme transporta, pređeno rastojanje, količina otpremljene robe i iskorišćenost vozila posmatrani su kao parametri za vrednovanje. Andrejić et al. (2021) primenili su DEA metodu u svom radu kao i Malmkvistov indeks produktivnosti za merenje promene efikasnosti u vremenu distributivnih centara. Površina poda skladišta, broj zaposlenih, procenat

iskorišćenja, broj viljuškara, obrt, broj paletnih mesta, broj radnji i broj realizovanih dostava posmatrani su kao ulazi/izlazi. Hassanpour (2021) je primenio DEA metodu da utvrdi efikasnost različitih inženjerskih projekata u planu procene uticaja na životnu sredinu (engl. *Environment Impact Assessment - EIA*) i Post-EIA.

3. MODEL IZBORA DOBAVLJAČA I ALOKACIJE PORUDŽBINE

Izbor dobavljača i alokacija porudžbina predstavljaju dve ključne grupe odluka na području logistike nabavke. Ovim pitanjima je posvećen veliki broj radova i modela, koji se mogu pronaći u relevantnoj literaturi, ali i praktičnoj primeni (Jain et al., 2020; Lu et al., 2021). Većina raspoloživih modela ova dva problema posmatra odvojeno. Razvijani su pristupi i modeli koji posebno rešavaju problem izbora dobavljača, a posebno problem alociranja poručivanja. Međutim, radi se o dva međusobno povezana i međuzavisna pitanja, te ih je često potrebno zajedno posmatrati i rešavati. Pregledom literature nije utvrđeno da postoje radovi koji istovremeno rešavaju ova dva vrlo kompleksna problema, primenom kombinacije više MCDM metoda za izbor dobavljača i modela za rešavanje problema alokacije porudžbine. Važnost navedene problematike, s jedne, i uočeni *gap* u literaturi, sa druge strane, bili su glavni motivi za definisanje integrisanog pristupa i modela za izbor dobavljača i alokaciju porudžbine. Cilj modela je da se donosiocima odluke obezbedi odgovarajuća podrška za dobijanje celovitog rešenja i premosti uočeni *gap* u stručnoj literaturi. Takođe, cilj je da se postavi osnov za integrisano rešavanje dve grupe problema za buduća istraživanja u literaturi.

Predložen je integrisani postupak i model, koji istovremeno posmatra problematiku izbora dobavljača i alokacije porudžbina. Koncept modela obuhvata više koraka (Slika 3.1). Prvo se iz potencijalnog skupa biraju najefikasniji dobavljači, koji dalje idu u postupak MCDM vrednovanja i rangiranja. Cilj ovog dela modela je da se eliminišu neefikasni dobavljači i da se sistem odlučivanja fokusira samo na efikasne dobavljače. Nakon što se izvrši rangiranje dobavljača ulazi se u proces alokacije porudžbina na različite dobavljače sa ciljem da se minimiziraju ukupni troškovi nabavke što je i funkcija cilja modela za alokaciju poručivanja. Rezultate koji se dobiju nakon primene ovog modela potrebno je dalje meriti, pratiti i analizirati kako bi se postiglo efikasno i ekonomično poslovanje. Praćenje rezultata se obično ostvaruje primenom određenih ključnih indikatora performansi (engl. *Key Performance Indicators - KPI*) (Pajić et al., 2021).



Slika 3.1. Koncept modela za izbor dobavljača i alokaciju poručivanja (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

3.1 STRUKTURA MODELA

U skladu sa postavljenim ciljem integrisani pristup i model baziraju se na DEA-FUCOM-CoCoSo metodama, kao i na PICONE modelu za alokaciju količina koje se poručuju.

3.1.1 DEA metoda za određivanje efikasnih dobavljača

DEA metoda je matematička metoda koja koristi tehnike linearnog programiranja za pretvaranje ulaza u izlaze u svrhu evaluacije performansi. Cilj je odrediti relativnu efikasnost koja predstavlja odnos ukupnog ponderisanog izlaza i ukupnog ponderisanog ulaza. Da bi se od ukupnog broja dobavljača izdvojili samo efikasni, koji su potom analizirani, primenjen je DEA CCR-izlazno orijentisan model, koji je predstavljen u nastavku (Mardani et al., 2017; Pajić et al., 2022):

$$\min \sum_r v_r x_{ij0} \quad (3.1)$$

p.o.

$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_r v_r x_{ij} \leq 0, \quad \forall j \quad (3.2)$$

$$\sum_i u_i y_{ij0} = 1 \quad (3.3)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, \forall i \quad (3.4)$$

gde j predstavlja broj jedinica odlučivanja (*engl. Decision-Making Units - DMU*) i $j=1, 2, \dots, n$, m predstavlja broj ulaza ($x_{ij} = 1, 2, \dots, m$) i s predstavlja broj izlaza ($y_{rj} = 1, 2, \dots, s$). y_{rj} predstavlja iznos r -tog izlaza od DMU_j ; u_r predstavlja težinu dodeljenu r -tom izlazu; x_{ij} predstavlja iznos i -tog ulaza iskorišćenog od strane DMU_j ; v_i predstavlja težinu koja se dodeljuje i -tom ulazu.

3.1.2 FUCOM metoda za određivanje težina kriterijuma

Za određivanje težina kriterijuma primenjena je FUCOM metoda, koja smanjuje subjektivnost donosilaca odluka, a što dovodi do doslednosti u težinskim vrednostima kriterijuma. Kod drugih metoda, kao što su *Best-Worst* i AHP, pojavljuje se redundantnost parnog poređenja, što može dovesti do određenih grešaka u proceni. FUCOM metoda eliminiše ovaj problem (Ecer i Pamučar, 2020), što je bio osnovni razlog za njen izbor. Primenom ove metode dobijeno je i odstupanje od pune konzistentnosti (*engl. Deviation from Full Consistency - DFC*).

Procedura za određivanje težina kriterijuma sastoji se od tri koraka koji su prikazani u nastavku (Pamučar et al., 2018; Fazlollahtabar et al., 2019; Pajić et al., 2022):

Korak 1 – Rangiranje kriterijuma. Svi kriterijumi se rangiraju prema značajnosti (od najznačajnijeg do najmanje značajnog). Rangiranje vrše donosioci odluka.

$$C_j(1) > C_j(2) > \dots > C_j(k) \quad (3.5)$$

gde k predstavlja rang posmatranog kriterijuma.

Korak 2 – Poređenje kriterijuma. Porede se rangirani kriterijumi da bi se odredio komparativni prioritet kriterijuma $\varphi_{k/(k+1)}$, gde k predstavlja rang kriterijuma.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (3.6)$$

gde $\varphi_{k/(k+1)}$, predstavlja značaj koji kriterijum $C_{j(k)}$ ranga ima u poređenju sa kriterijumom $C_{j(k+1)}$ ranga.

Korak 3 – Izračunavanje težina. Utvrđuju se konačne vrednosti težina kriterijuma ocenjivanja. Da bi se odredile ove vrednosti moraju biti ispunjena dva uslova:

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3.7)$$

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (3.8)$$

Nakon što su ova dva uslova ispunjena, konačni model za izračunavanje težina kriterijuma ocenjivanja može se definisati kao:

$$\text{Min } \chi \quad (3.9)$$

p.o.

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+1)}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right| \leq \chi, \forall j \quad (3.10)$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j \quad (3.11)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3.12)$$

$$w_j \geq 0, \forall j \quad (3.13)$$

Nakon rešavanja ovog modela određuju se konačne vrednosti težina kriterijuma ocenjivanja $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ kao i stepen konzistentnosti (χ).

3.1.3 CoCoSo metoda za rangiranje dobavljača

Nakon utvrđivanja težina kriterijuma, primenjena je CoCoSo metoda u cilju dobijanja konačnog ranga dobavljača. CoCoSo metoda koristi tri strategije agregacije za generisanje mera ukupne korisnosti varijanti. Ovaj metod karakteriše inovativna struktura zasnovana na integraciji kompromisnih algoritama za donošenje odluka. Pored toga, CoCoSo metoda je pouzdanija i stabilnija od dostupnih metoda (Peng i Huang, 2020). Upravo zato, ova metoda je primenjena u ovom modelu s ciljem dobijanja konačnog ranga dobavljača. Razlog zašto je ova kombinacija metoda primenjena u ovom radu ogleda se u činjenici da FUCOM smanjuje subjektivnost, dok je CoCoSo pouzdanija i stabilnija od drugih metoda.

Procedura za određivanje konačnog ranga varijanti primenom CoCoSo metode obuhvata sledeće korake (Yazdani et al., 2018; Pajić et al., 2022):

Korak 1 – Definirati početnu matricu odlučivanja.

Korak 2 – Normalizacija vrednosti kriterijuma se postiže primenom jednačina (3.14) i (3.15) u zavisnosti od tipa kriterijuma:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}; \text{ za kriterijume maksimizacionog tipa} \quad (3.14)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}; \text{ za kriterijume minimizacionog tipa} \quad (3.15)$$

Korak 3 – Izračunava se suma težinskih uporedivih sekvenci (nizova) - S_i i snaga težinskih uporedivih sekvenci - P_i primenom jednačina (3.16) i (3.17):

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j r_{ij}) \quad (3.16)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (3.17)$$

Korak 4 – Izračunavanje relativnih težina varijanti korišćenjem sledećih strategija agregacije primenom jednačina (3.18)-(3.20):

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (3.18)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (3.19)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i)}; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3.20)$$

U formuli (20), λ biraju donosioci odluka i obično iznosi $\lambda = 0,5$.

Korak 5 – Konačno rangiranje varijanti se određuje na osnovu vrednosti k_i primenom jednačine (3.21) gde veća vrednost predstavlja bolje rešenje:

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (3.21)$$

3.1.4 Model za alokaciju poručivanja

Kako bi se rešio problem alokacije poručivanja, u ovom modelu primenjen je PICONE (*engl. Pure Integer Conic Program*) model. Predstavljeni model je zasnovan na modelu (Anna i Fhiliantie, 2018; Pajić et al., 2022), pri čemu je model primenjen u ovoj disertaciji dodatno modifikovan uvođenjem novih ograničenja i uključivanjem transportnih troškova u funkciju cilja. Notacija modela prikazana je u tabeli 3.1 kao i formulacija modela (funkcija cilja i ograničenja) koja je korišćena u ovoj disertaciji.

Tabela 3.1. Notacija modela (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Indeksi	
$i (i = 1, 2, \dots, m)$	Indeks perioda (mesec)
$j (j = 1, 2, \dots, n)$	Indeks dobavljača
Skupovi	
M	Broj perioda
N	Broj dobavljača
Parametri	
P_{ij}	Cena sirovine za period i od dobavljača j (n.j./kg)
TC_{ij}	Transportni troškovi za period i od dobavljača j (n.j./kg)
OC_{ij}	Troškovi poručivanja za period i za dobavljača j (n.j./porudžbini)
HC_i	Troškovi zaliha za period i (n.j./kg)
D_i	Tražnja za robom u periodu i (kg)
SC_{ij}	Kapacitet dobavljača za period i od dobavljača j (kg)
SS_i	Zaštitne zalihe za period i (kg)
DT_{ij}	Vreme isporuke za period i od strane dobavljača j (dani)
DT_{max}	Maksimalno vreme isporuke (dani)
DQ_{ij}	Iznos poručene robe za koju je odobren popust za period i od strane dobavljača j (kg)
DA_{ij}	Odobreni iznos popusta ukoliko se dostigne vrednost DQ (%)
$DCcap$	Kapacitet distributivnog centra (kg)
Promenljive	
X_{ij}	Količina poručene robe za period i od dobavljača j (kg)
Y_{ij}	Binarna promenljiva (uzima vrednost 1 ukoliko se poručuju količine od dobavljača i 0 u suprotnom)
I_i	Količina robe na zalihama za period i (kg)

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n OC_{ij} Y_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n TC_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^m HC_i I_i \quad (3.22)$$

p.o.

$$X_{ij} \leq SC_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.23)$$

$$X_{ij} \leq MSC_{ij} Y_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.24)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} + I_i \geq D_i \quad \forall i \quad (3.25)$$

$$I_i = I_{i-1} + \sum_{j=1}^n X_{ij} - D_i \quad \forall i \quad (3.26)$$

$$I_1 = I_0 + \sum_{j=1}^n X_{1j} - D_1 \quad (3.27)$$

$$I_i \geq SS_i, \quad \forall i \quad (3.28)$$

$$SS_i = 0,15 * D_i \quad \forall i \quad (3.29)$$

$$DT_{ij}Y_{ij} \leq DT_{max} \quad \forall i, j \quad (3.30)$$

$$X_{ij}Y_{ij} \geq DQ_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.31)$$

$$OC_{ij} = DA_{ij} * OC_{i-1j} \quad \forall i, j \quad (3.32)$$

$$X_{ij} + I_i + SS_i \leq DC_{cap} \quad \forall i, j \quad (3.33)$$

$$Y_{ij} \in (0,1), \quad \forall i, j \quad (3.34)$$

$$X_{ij}, I_i \geq 0 \text{ i ceo broj}, \quad \forall i, j \quad (3.35)$$

$$O_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (3.36)$$

U razvijenom modelu funkcija cilja ima zadatak da minimizira ukupne troškove, odnosno troškove nabavke, naručivanja, zaliha i transporta. Ograničenje (3.23) se odnosi na kapacitet dobavljača koji mora biti veći od količine naručene od tog dobavljača. Ograničenje (3.24) se odnosi na alokaciju količine poručivanja pri čemu ta količina mora biti manja od ukupnog kapaciteta dobavljača za sve periode. Da bi se zadovoljila tražnja, postavlja se ograničenje (3.25). Sledeća dva ograničenja (3.26) i (3.27) odnose se na stanje zaliha. Pošto nedostatak proizvoda može uzrokovati nemogućnost zadovoljenja potražnje s jedne strane, a s druge strane prevelike zalihe mogu proizvesti prevelike troškove, potrebno je pronaći optimum u količini robe na zalihama. Prilikom upravljanja zalihama potrebno je definisati sigurnosnu zalihu kako kompanija ne bi ostala bez proizvoda. Ograničenja (3.28) i (3.29) se odnose upravo na to. Vreme isporuke (vreme koje protekne od trenutka poručivanja do trenutka isporuke) je takođe važno za mogućnost brzog reagovanja na trenutnu potražnju. Iz tog razloga je postavljeno ograničenje (3.30). Dobavljači često odobravaju popuste na određene količine prilikom naručivanja (na taj način stimulišu kupce da od njih naručuju). Zbog toga su ograničenja (3.31) i (3.32) uključena u model koji je razvijen u ovoj disertaciji. Naime, ako je naručena količina veća od količine za koju se odobrava popust, popust će biti odobren prilikom naručivanja u narednom periodu ($i+1$). Ograničenje (3.33) se odnosi na kapacitet distributivnog centra trgovca koji se ne sme prekoračiti. Na kraju, ograničenja (3.34), (3.35) i (3.36) definišu promenljive koje se koriste u ovom modelu.

3.2 POSTUPAK PRIMENE MODELA I ANALIZA REZULTATA

Predloženi model testiran je na podacima jedne trgovačke kompanije koja posluje na tržištu Srbije. S obzirom da kompanija poseduje veliki asortiman proizvoda, u daljoj analizi razmatran je samo jedan segment (kategorija) proizvoda. Za ocenu i izbor samo efikasnih dobavljača (od ukupno 29) primenjena je DEA metoda sa dva ulaza i šest izlaza. Primenom ove metode utvrđeno je šest efikasnih dobavljača. Nakon toga je primenjena FUCOM metoda u cilju određivanja težina devet kriterijuma, koji su potom korišćeni u CoCoSo metodi da bi se

odredila tri najbolje rangirana dobavljača (od šest efikasnih). Na kraju je primenjen model za alokaciju poručivanja sa jednom funkcijom cilja i 70 ograničenja.

Prilikom primene DEA metoda neophodno je definisati ulazno i izlazno orijentisane parametre kako bi se izvršila procena efikasnosti DMU jedinica. U ovom modelu, definisani su sledeći ulazi/izlazi:

- nabavljene količine, i
 - nabavna vrednost.
 - prihod,
 - prodajna vrednost,
 - broj prodavnica u kojima se roba tog dobavljača prodaje,
 - otpis,
 - troškovi prekomernih zaliha, i
 - nivo usluge.
- } **ulazi**
- } **izlazi**

Nabavljena količina predstavlja ukupnu naručenu količinu robe od određenog dobavljača izraženu u tonama (t). Nabavna vrednost predstavlja vrednost (cenu) koju je trgovac (*retailer*) platio dobavljaču, izraženu u novčanoj jedinici (n.j.). Prihod predstavlja iznos koji se dobije kada se od prodajne cene odbije porez na dodatu vrednost (PDV), izražen u n.j. Prodajna vrednost se dobija dodavanjem marže prodavca i iznosa PDV-a na nabavnu cenu takođe izraženu u n.j. Broj prodavnica predstavlja ukupan broj prodavnica u kojima se prodaje roba tog dobavljača (pošto trgovac ima prodavnice širom zemlje). Otpis predstavlja sve lomove, štete, istek roka trajanja robe i sl., izraženo u n.j. Prekomerni troškovi zaliha nastaju usled lošeg planiranja zaliha, takođe izraženi u n.j. Nivo usluge predstavlja tačnost isporuke dobavljača (u smislu kompletnosti porudžbine i pravovremenosti isporuke), koja se izražava u procentima (%). Neki od ovih indikatora posmatrani su i kao kriterijumi za ocenjivanje dobavljača u FUCOM metodi.

Dobijeni podaci su potom iskorišćeni za primenu prethodno opisanog izlazno orijentisanog CCR modela. Nakon rešavanja postavljenog modela, zaključeno je da je samo 6 dobavljača efikasno od ukupnog broja, što je prikazano u tabeli 3.2. Pošto je primena DEA metode odvojila efikasne od neefikasnih dobavljača, u narednim fazama razvijenog modela posmatrani su i analizirani samo efikasni dobavljači. Nakon primene DEA metode, FUCOM metoda je primenjena za određivanje težina kriterijuma koji su kasnije korišćeni u CoCoSo metodi za konačno rangiranje dobavljača.

Tabela 3.2. Rezultati DEA metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Naziv DMU-a	Efikasnost	Naziv DMU-a	Efikasnost
Dobavljač 1	0.830178741	Dobavljač 16	1
Dobavljač 2	0.993094408	Dobavljač 17	0.912238298
Dobavljač 3	0.894018835	Dobavljač 18	0.762394285
Dobavljač 4	0.653831891	Dobavljač 19	0.935567367
Dobavljač 5	0.952766145	Dobavljač 20	0.839325219
Dobavljač 6	0.850352713	Dobavljač 21	0.727809542
Dobavljač 7	1	Dobavljač 22	0.653232181
Dobavljač 8	1	Dobavljač 23	0.852216565
Dobavljač 9	1	Dobavljač 24	0.731280219
Dobavljač 10	0.716469484	Dobavljač 25	0.85044203
Dobavljač 11	0.938969404	Dobavljač 26	0.697173369
Dobavljač 12	1	Dobavljač 27	1
Dobavljač 13	0.973693036	Dobavljač 28	0.716652258

Dobavljač 14	0.856429161	Dobavljač 29	0.985050685
Dobavljač 15	0.812191691		

Kao što je napomenuto, deo ulaza/izlaza iz DEA metode korišćeni su kao kriterijumi za ocenjivanje i rangiranje dobavljača. Međutim, pored njih, definisani su i drugi logistički kriterijumi. Razlog tome leži u činjenici da posmatrana kompanija prilikom izbora dobavljača prvo ugovara i definiše finansijske pokazatelje, a tek potom logističke, što je jedan od glavnih problema u praksi. Iz tog razloga, u FUCOM metodi razmatrani su sledeći kriterijumi koji su korišćeni za procenu dobavljača:

- kvalitet proizvoda (K1),
- cena (K2),
- prihod (K3),
- troškovi viška zaliha (K4),
- nivo usluge (K5),
- pouzdanost (K6),
- fleksibilnost (K7),
- otpis (K8), i
- sertifikat kvaliteta (K9).

Da bi se kvantifikovao kvalitet proizvoda, posmatran je obim prodaje (t) u proteklom periodu (u periodu od 3 meseca) i na osnovu toga su procenjeni dobavljači. Cena proizvoda se dobija oduzimanjem nabavne vrednosti od prodajne vrednosti, izražene u n.j. Pouzdanost je takođe dobijena na osnovu istorijskih podataka (koliko je često dobavljač ispoštovao ugovoreni rok, potrebnu količinu i nivo usluge), izraženo u %. Fleksibilnost predstavlja potrebno vreme i sposobnost reagovanja na nagle promene u potražnji. U ovom radu, fleksibilnost je određena na osnovu podataka kompanije i predstavlja broj dodatnih isporuka od dobavljača potrebnih da bi se zadovoljila tražnja. Na kraju, poslednji kriterijum koji je razmatran je broj standarda kvaliteta koje dobavljač ima, s obzirom da je kvalitet posmatrane kompanije važan parametar pri izboru dobavljača.

Prvi korak u primeni FUCOM metode je rangiranje kriterijuma od najznačajnijih do najmanje značajnih, što je prikazano u nastavku.

$$K1 > K2 > K3 > K4 > K5 > K6 > K7 > K8 > K9$$

Nakon rangiranja kriterijuma po važnosti, sproveden je drugi korak u cilju utvrđivanja značajnosti kriterijuma ($\omega_{C_j(k)}$). Poređenje se vrši u odnosu na kriterijum prvog ranga (K1). Prikazane vrednosti su dobijene na osnovu procene 5 stručnjaka iz oblasti nabavke analizirane kompanije. Rezultati poređenja prikazani su u tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Rezultati DEA metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Kriterijum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
$\omega_{C_j(k)}$	1	1.5	2.1	3.7	4.2	5	5	7	9

Na osnovu vrednosti ($\omega_{C_j(k)}$) iz tabelle 3.3, moguće je definisati model u cilju određivanja težina kriterijuma. Model korišćen u ovoj disertaciji je predstavljen u nastavku.

$$\text{Min } \chi$$

p.o.

$$\begin{aligned} \left| \frac{w_1}{w_2} - 1.5 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2}{w_3} - 1.4 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.76 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_5} - 1.13 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5}{w_6} - 1.19 \right| \\ \leq \chi, \left| \frac{w_6}{w_7} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_7}{w_8} - 1.4 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_8}{w_9} - 1.28 \right| \leq \chi, \\ \left| \frac{w_1}{w_3} - 2.1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2}{w_4} - 2.46 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3}{w_5} - 1.99 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_6} - 1.34 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5}{w_7} - 1.19 \right| \\ \leq \chi, \left| \frac{w_6}{w_8} - 1.4 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_7}{w_9} - 1.79 \right| \leq \chi, \\ \sum_{j=1}^9 w_j = 1, \\ w_j \geq 0, \forall j \end{aligned}$$

Za rešavanje predstavljenog modela korišćen je LINGO softver. Rešavanjem modela dobijene su vrednosti težina kriterijuma $(0,3015, 0,2010, 0,1438, 0,0817, 0,0724, 0,0610, 0,0610, 0,0436, 0,0341)^T$ kao i stepen konzistentnosti DFC $\chi = 0,00$. Nakon utvrđivanja težina kriterijuma, primenjena je CoCoSo metoda u cilju dobijanja konačnog ranga dobavljača. Prvi korak u primeni ove metode podrazumeva definisanje početne matrice odlučivanja koja je prikazana tabelom 3.4. Vrednosti prikazane u matrici dobijene su na osnovu podataka analizirane trgovačke kompanije. Imajući ovo u vidu, može se reći da su dobijeni rezultati pouzdani i kvalitet razvijenog modela veći.

Tabela 3.4. Početna matrica odlučivanja (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Kriterijum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Tip kriterijuma	max	min	max	min	max	max	max	min	max
V1	6.207	5.119.942	12.441.184	13.278	99	98.8	651	379.872	1
V2	4.141	2.656.669	9.070.183	121.953	96	98.3	1521	468.742	3
V3	9	1.333	4.454	0	67	99.6	25	176	4
V4	9.561	4.437.933	7.802.354	45.416	45	97.9	671	631.287	2
V5	21.116	4.576.211	11.061.054	118.626	62	99.2	1518	326.144	1
V6	148	29.337	116.760	37.059	100	98.5	32	61.294	3

Nakon određivanja početne matrice, prešlo se na drugi korak, odnosno normalizaciju prema tipu kriterijuma. Na osnovu tabele 3.4 može se zaključiti da je u ovom radu posmatrano 6 kriterijuma maksimizacionog tipa i 3 kriterijuma minimizacionog tipa. Normalizacija je izvršena primenom jednačina (3.14) i (3.15). Rezultati normalizacije prikazani su u tabeli 3.5. Pored normalizovanih vrednosti, u tabeli ispod prikazane su i težine kriterijuma dobijene primenom FUCOM metode.

Tabela 3.5. Normalizovana matrica odlučivanja (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Kriterijum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Težina	0.3015	0.2010	0.1438	0.0817	0.0724	0.0610	0.0610	0.0436	0.0341
V1	0.29	0.00	1.00	0.89	0.98	0.53	0.42	0.40	0.00
V2	0.20	0.48	0.73	0.00	0.93	0.24	1.00	0.26	0.67
V3	0.00	1.00	0.00	1.00	0.40	1.00	0.00	1.00	1.00
V4	0.45	0.13	0.63	0.63	0.00	0.00	0.43	0.00	0.33

V5	1.00	0.11	0.89	0.03	0.31	0.76	1.00	0.48	0.00
V6	0.01	0.99	0.01	0.70	1.00	0.35	0.00	0.90	0.67

Sledeći korak uključuje određivanje vrednosti S_i i P_i za svaku varijantu (dobavljača) primenom jednačina (3.16) i (3.17). Rezultati ovog koraka prikazani su u tabelama 3.6 i 3.7.

Tabela 3.6. Vrednosti parametra S_i (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Kriterijum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	S_i
V1	0.09	0.00	0.14	0.07	0.07	0.03	0.03	0.02	0.00	0.45
V2	0.06	0.10	0.10	0.00	0.07	0.01	0.06	0.01	0.02	0.44
V3	0.00	0.20	0.00	0.08	0.03	0.06	0.00	0.04	0.03	0.45
V4	0.14	0.03	0.09	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.34
V5	0.30	0.02	0.13	0.00	0.02	0.05	0.06	0.02	0.00	0.60
V6	0.00	0.20	0.00	0.06	0.07	0.02	0.00	0.04	0.02	0.42

Tabela 3.7. Vrednosti parametra P_i (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Kriterijum	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	P_i
V1	0.69	0.00	1.00	0.99	1.00	0.96	0.95	0.96	0.00	6.55
V2	0.61	0.86	0.96	0.00	0.99	0.92	1.00	0.94	0.99	7.27
V3	0.00	1.00	0.00	1.00	0.94	1.00	0.00	1.00	1.00	5.94
V4	0.79	0.67	0.94	0.96	0.00	0.00	0.95	0.00	0.96	5.27
V5	1.00	0.64	0.98	0.75	0.92	0.98	1.00	0.97	0.00	7.24
V6	0.22	1.00	0.51	0.97	1.00	0.94	0.72	1.00	0.99	7.34

Na kraju, poslednji korak u primeni CoCoSo metode podrazumeva određivanje tri strategije kao i vrednosti k_i da bi se odredio konačni rang dobavljača. Ovi koeficijenti su određeni primenom jednačina (3.18)-(3.21). Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 3.8.

Tabela 3.8. Rangiranje dobavljača primenom CoCoSo metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Dobavljač	K_{ia}	K_{ib}	K_{ic}	K_i	Rang
V1	0.166	2.563	0.882	1.924	4
V2	0.182	2.658	0.970	2.048	2
V3	0.151	2.443	0.804	1.799	5
V4	0.133	2.000	0.706	1.518	6
V5	0.185	3.137	0.987	2.268	1
V6	0.183	2.610	0.976	2.033	3

Na osnovu rezultata tabele 3.8 može se zaključiti da su se kao prva tri najbolje rangirana rešenja izdvojili dobavljači V5, V2 i V6. Ova tri dobavljača su zatim dalje analizirana u drugom delu modela, koji se bavi rešavanjem problema alokacije količina prilikom poručivanja. Za rešavanje ovog problema primenjen je prethodno opisan model. Ulazni podaci modela koji su korišćeni u ovom modelu prikazani su tabelom 3.9. Model je korišćen za alokaciju porudžbina za 3 dobavljača u naredna 3 meseca.

Tabela 3.9. Ulazni podaci modela (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Parametar	Period (mesec)	Dobavljač 1	Dobavljač 2	Dobavljač 3
P_{ij}	M1	430	450	440
	M2	430	450	440
	M3	430	450	440
TC_{ij}	M1	0.58	0.56	0.60
	M2	0.58	0.56	0.60
	M3	0.58	0.56	0.60
OC_{ij}	M_0	1450	1425	1500
HC_{ij}	M1	25	25	25
	M2	25	25	25
	M3	25	25	25
SC_{ij}	M1	9000	11000	8500
	M2	9000	11000	8500
	M3	9000	11000	8500
DT_{ij}	M1	2	3	2
	M2	2	3	2
	M3	2	3	2
DQ_{ij}	M1	7000	8500	6000
	M2	7200	8500	6100
	M3	7400	8800	6500
DA_{ij}	M1	10	9	10
	M2	12	12	11
	M3	13	15	14

S obzirom da je asortiman analizirane kompanije isuviše veliki, jedan segment artikala je uzet kao uzorak i razmatran je dalje u modelu za alokaciju poručivanja. Dakle, na osnovu podataka analizirane kompanije, zaključeno je da je u prethodnom mesecu nivo zaliha iznosio 5.000 kg (I0). Takođe, na osnovu prognoza u kompaniji, definisana je tražnja za posmatranom robom u narednom periodu (za naredna 3 meseca) $D1 = 15.000$ kg, $D2 = 17.500$ kg i $D3 = 19.000$ kg. Da bi se izračunao trošak naručivanja (OC_{ij}) potrebno je definisati trošak porudžbine u prethodnom periodu, koji je definisan na osnovu podataka kompanije i čiji se iznos može videti u tabeli 3.9 (M_0). Maksimalno vreme isporuke (DT_{max}) je vreme propisano ugovorima (koji se potpisuju jednom godišnje) i iznosi 4 dana za sve dobavljače. Poslednji podatak potreban za model je kapacitet distributivnog centra koji u ovom slučaju iznosi 50.000 kg (DC_{cap}). Ovde treba napomenuti da se prikazani kapacitet odnosi samo na analiziranu robu, a ne na kapacitet celog DC-a, koji je znatno veći. Na osnovu ovih podataka formiran je PICONE model koji je rešen primenom LINGO softvera. Izlazni rezultati modela prikazani su u tabeli 3.10.

Tabela 3.10. Izlazni rezultati modela (Prilagođeno prema Pajić et al., 2022)

Funkcija cilja	Vrednost	Varijabla	Vrednost
C	30.304.800	O13	1.350
Varijabla	Vrednost	O21	1.148,4
X11	7.000	O22	1.141,14
X12	8.500	O23	1.201,5
X13	6.000	O31	999,108
X21	7.200	O32	969,969
X22	8.500	O33	1033,29
X23	6.100	I1	11.500
X31	7.400	I2	15.800
X32	8.800	I3	19.500
X33	6.500	SS1	2.250
O11	1.305	SS2	2.625
O12	1.296,75	SS3	2.850

Na osnovu rezultata iz tabele 3.10 može se zaključiti da su ukupni troškovi za posmatrani period 30.304.800 n.j. Pored toga, vidi se da su svi dobavljači angažovani u svim mesecima. U prvom mesecu je potrebno naručiti 7.000 kg robe od prvog dobavljača, 8.500 kg robe od drugog i 6.000 kg robe od trećeg. Pošto su prikazane količine jednake količinama neophodnim za odobravanje popusta, na osnovu vrednosti varijabli *O11*, *O12* i *O13*, vidi se da je popust obračunat i da troškovi naručivanja iznose 1.305 n.j. za prvog dobavljača, 1.296,75 n.j. za drugog dobavljača i 1.350 n.j. za trećeg dobavljača. Za prvi mesec se vide i vrednosti količine robe na zalihama (11.500 kg) i sigurnosnih zaliha (2.250 kg). Za drugi mesec, prema rezultatima tabele 3.10, potrebno je naručiti 7.200 kg robe od prvog dobavljača, 8.500 kg od drugog dobavljača i 6.100 kg robe od trećeg dobavljača. Troškovi naručivanja su 1.148,4 n.j.; 1.141,14 n.j.; 1.201,5 n.j. respektivno. Na kraju drugog meseca vidi se da je na zalihama ostalo 15.800 kg robe i 2.625 kg sigurnosnih zaliha. U trećem mesecu potrebno je naručiti 7.400 kg robe od prvog dobavljača, 8.800 kg robe od drugog dobavljača i 6.500 kg robe od trećeg dobavljača, gde su troškovi naručivanja 999.108 n.j.; 969,969 n.j. i 1033,29 n.j. respektivno. Na osnovu ovih podataka može se videti da su troškovi naručivanja najniži za ovaj mesec. Na kraju trećeg meseca na zalihama je ostalo 19.500 kg robe i 2.850 kg sigurnosnih zaliha.

Rezultati primene su pokazali da razvijeni pristup može pružiti značajnu podršku odlučivanju. Takođe, analizirani podaci u ovom modelu odnose se na samo jednu kategoriju robe od preko 30 kategorija koje postoje u okviru analizirane kompanije. Izbor finansijskih i logističkih kriterijuma pri izboru dobavljača kao i troškovi nabavke, naručivanja, zaliha i transporta uz određena ograničenja u potpunosti su pokrili sve realne slučajeve. Jedno od značajnijih ograničenja koje je osmišljeno i implementirano u modelu je ono koje se odnosi na popust koji se odobrava u slučaju naručivanja određene količine proizvoda. Upravo preko tog ograničenja ovaj model je povezan sa praksom i odgovara rešavanju realnih problema. Prednost razvijenog modela ogleda se u primenljivosti za druge kategorije robe, ali i druge vrste i veličine kompanija, vrste proizvoda i sl. uz minimalne promene. Razvijeni model predstavlja novi integrisani (hibridni pristup) koji rešava dva problema odjednom i koji može biti dobra osnova za buduća istraživanja.

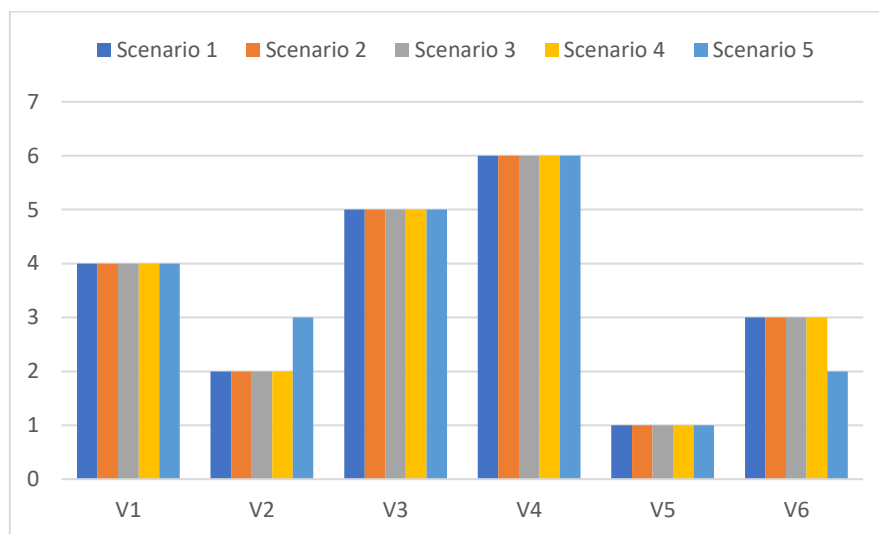
Doprinos ovog pristupa ogleda se u tome da posmatra sve aspekte stvarnog problema koji je rešen. Pored toga, razvijeni pristup je u potpunosti primenljiv u praksi (na realnim sistemima) i pogodan za rešavanje problema u realnom vremenu (kao alat za podršku odlučivanju prilikom izbora dobavljača i alokacije poručivanja). Na osnovu toga, može se reći da je hipoteza H1, koja glasi: sveobuhvatnim pristupom izboru dobavljača i alokaciji poručenih količina robe moguće je unaprediti proces odlučivanja na području logistike nabavke, potvrđena.

3.3 ANALIZA OSETLJIVOSTI MODELA

Kao što je rečeno, u literaturi ne postoje radovi koji istovremeno rešavaju pomenuta dva problema, kako je opisano u ovom modelu. U tom smislu, rezultati i model se ne mogu u potpunosti porediti sa modelima iz literature s obzirom da ne postoje slični radovi kao *benchmark*. Delimičnim poređenjem prve i druge faze sa sličnim radovima u literaturi, može se zaključiti da model daje bolje rezultate jer predstavlja integrisani pristup. Praktičnost i upotrebljivost pristupa potvrđuje njegova direktna primenljivost na realni sistem (problem iz prakse). Nedostatak većine modela u literaturi je to što su zasnovani na teorijskim pristupima i testiranju na malim hipotetičkim primerima. Problem nastaje kada modele treba primeniti na stvarne primere i sisteme. Razvijeni pristup prevazilazi ovaj nedostatak. Integrisani model je nedvosmisleno koristan alat za podršku odlučivanju koji može da stvori značajne uštede, kako u pogledu troškova tako i vremena, ali i unaprediti pouzdanost donošenja odluka. Smanjenjem troškova nabavke, naručivanja, zaliha i transporta, kompanija može postići velike uštede. To

znači da se sredstva mogu koristiti (ulagati) u druge segmente, opremu, itd. Ovo je posebno važno za sisteme kao što su maloprodaja, proizvodnja, itd., koji često posmatraju logistiku kao izvor troškova.

Da bi se videlo da li će promena težine kriterijuma uticati na konačan rang, u poslednjem delu modela urađena je analiza osetljivosti (Slika 3.2). Naime, definisano je pet scenarija, svaki sa različitim vrednostima težina kriterijuma kako bi se utvrdilo da li će doći do promene rangiranja dobavljača. U prvom i drugom scenariju povećane su težine kriterijuma K1, K2, K3 i K4 i smanjene težine kriterijuma K5, K6, K7, K8 i K9. U prvom scenariju su uzete u obzir sledeće težine (0.3070, 0.2020, 0.1445, 0.0835, 0.0700, 0.0600, 0.0580, 0.0426, 0.0324)^T a u drugom (0.3090, 0.2025, 0.1455, 0.0845, 0.0698, 0.0590, 0.0585, 0.0410, 0.0302)^T. Nakon obračuna, utvrđeno je da je konačan rang dobavljača isti, odnosno da nije došlo do promene. U trećem scenariju, težine kriterijuma K1, K2 i K4 su smanjene, dok su težine kriterijuma K3, K5, K6, K7, K8 i K9 povećane (0.2800, 0.1800, 0.1500, 0.0600, 0.0800, 0.0800, 0.0750, 0.0525, 0.0425)^T. Međutim, ni u ovom scenariju nije došlo do promene u rangiranju dobavljača. U četvrtom scenariju smanjene su težine kriterijuma K1, K2, K3 i K9, dok su težine kriterijuma K4, K5, K6, K7 i K8 povećane (0.2200, 0.1600, 0.1400, 0.1300, 0.1100, 0.1000, 0.0800, 0.0300, 0.0300)^T. Nakon primene opisane metodologije dobijeni su isti rezultati, odnosno nije došlo do promene u rangiranju dobavljača. Iz tog razloga definisan je i peti scenario u kome su težine kriterijuma K1, K2, K3 i K9 značajno smanjene, dok su težine kriterijuma K4, K5, K6, K7 i K8 povećane (0.1800, 0.1400, 0.1200, 0.1200, 0.1150, 0.1000, 0.1000, 0.1000, 0.0250)^T. U ovom scenariju došlo je do promene u rangiranju, odnosno, dobavljači V2 i V6 su zamenili mesta, pa je po ovom scenariju konačan rang dobavljača $V5 > V6 > V2 > V1 > V3 > V4$.



Slika 3.2. Analiza osetljivosti modela za izbor dobavljača i alokaciju poručivanja

4. MODEL IZBORA USLOVA ISPORUKE ROBE

Sa globalizacijom tržišta sve je više lanaca snabdevanja gde se sirovine, repromaterijali i finalni proizvodi nabavljaju na međunarodnom tržištu u različitim delovima sveta. Međunarodna trgovina je razmena kapitala, dobara i usluga preko međunarodnih granica ili teritorija (Dictionary, 2023; Edumaritime, 2023). Za razliku od domaće trgovine, aktivnosti i procedure su dosta kompleksnije, sa velikim brojem učesnika, realizuju se u vrlo dinamičnom i promenljivom okruženju sa puno izazova i poremećaja.

Prilikom međunarodne kupoprodaje jedan od ključnih procesa jeste proces pregovaranja i komunikacije između kupca i prodavca. Naime, osim ugovaranja cene proizvoda, za obe strane je jako bitno da znaju ko je zadužen za organizaciju transporta i dopreme robe od prodavca do kupca. Međutim, jezičke barijere, različita pravna regulativa, trgovinska praksa i običaji vrlo često dovode do nesporazuma, nerazumevanja, problema i različitih tumačenja na globalnom tržištu. Da bi se izbegle problematične situacije kao što su zastoji, čekanja, poremećaji, dodatni troškovi i sudski sporovi učesnici u međunarodnoj trgovini koriste standardizovane uslove isporuke poznate pod nazivom Incoterms, koje je definisala Međunarodna trgovinska komora. Prvi uslovi su definisani 1936. godine u Parizu i od tada se redovno revidiraju i prilagođavaju aktuelnoj trgovinskoj i logističkoj praksi. Poslednja verzija je u primeni od 2020. godine, nosi oznaku Incoterms 2020, a sadrži 11 pravila. Od toga, sedam pravila se može primenjivati u svim vidovima transporta (engl. *Ex Works* – EXW; engl. *Free Carrier* – FCA; engl. *Carriage Paid To* – CPT; *Carriage and Insurance Paid To* – CIP; engl. *Delivered at Place* – DAP; engl. *Delivered at Place Unloaded* – DPU; engl. *Delivered Duty Paid* - DDP), dok se četiri koriste samo prilikom pomorskog ili rečnog transporta (engl. *Free Alongside Ship* – FAS; engl. *Free on Board*; engl. *Cost and Freight* – CFR; engl. *Cost, Insurance and Freight* – CIF). Pored ove podele, često se koristi i podela koja sva pravila isporuke deli u četiri grupe i to:

- Grupa E – EXW;
- Grupa F – FCA, FAS, FOB;
- Grupa C – CPT, CIP, CFR, CIF;
- Grupa D – DAP, DPU, DDP.

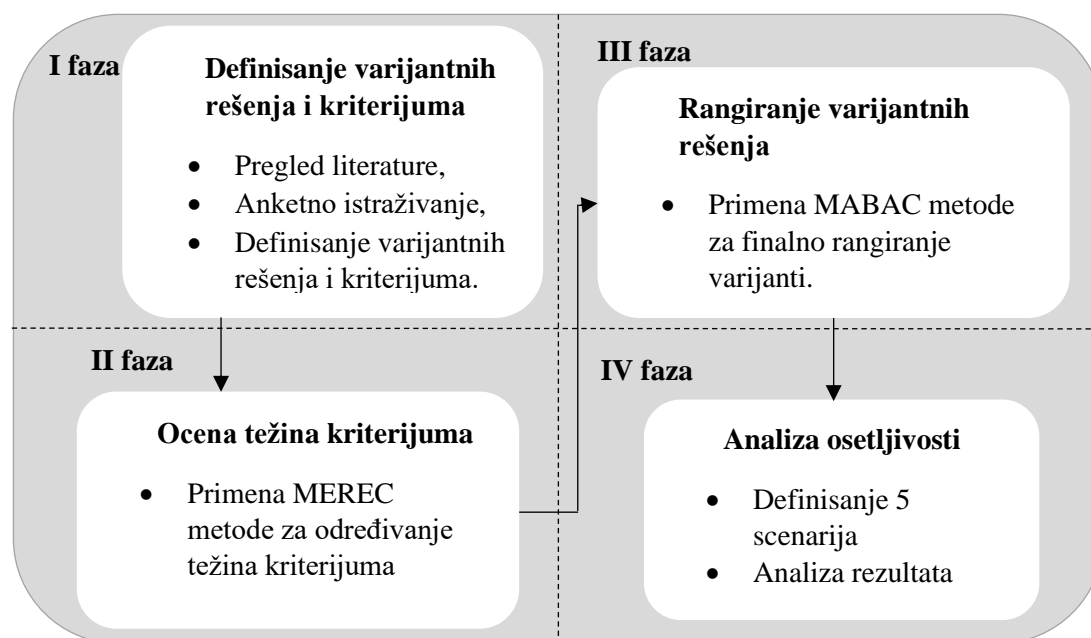
Incoterms pravila se uglavnom odnose na obaveze i odgovornosti prodavca i kupca, odnosno njihovih logističara, u pogledu isporuke robe, podele troškova, rizika i osiguranja. Iz tog razloga potrebno je pažljivo izabrati odgovarajuće pravilo isporuke kako bi se pronašao optimum između rizika ali i troškova koje snosi prodavac sa jedne strane, i kupac sa druge strane. Pored toga, pravilnim izborom uslova isporuke može se direktno uticati na bolju vidljivost procesa u lancima snabdevanja, bolje upravljanje procesima otpreme i isporuke robe. Izbor pravog uslova isporuke nije samo bitan za vlasnike robe, već i za špediterske i logističke kompanije čiji je posao da planiraju i organizuju logističke procese u međunarodnim lancima snabdevanja. Međutim, pitanje izbora pravila isporuke je jako kompleksno s obzirom da na izbor uslova isporuke utiče veliki broj faktora, kao što su zahtevi ino-partnera, odnos ponude i potražnje na globalnom tržištu, vrsta i vrednost robe, zakonska regulativa na stranom tržištu, pregovaračka snaga, iskustvo u primeni uslova isporuke, rizici, troškovi logistike, itd. Upravo iz tog razloga, cilj ovog modela jeste da olakša i unapredi proces donošenja odluke o izboru pravila isporuke iz Incoterms-a.

Dodatne izazove koji utiču na izbor i definisanje uslova isporuke predstavljaju novi trendovi i poremećaji koji su prisutni u globalnim lancima snabdevanja. Brojne promene su nastale na svetskom tržištu nakon što su usvojena pravila isporuke Incoterms 2020. S obzirom da je nedovoljno poznato u kojoj meri pojedini uslovi isporuke odgovaraju najnovijim trendovima i

dešavanjima na globalnom tržištu, neophodno je izvršiti istraživanje o faktorima koji utiču na izbor pravila isporuke kao i koja se to pravila najčešće koriste za međunarodnu trgovinu. Iz tog razloga, prethodno navedeno predstavlja još jedan od motiva za definisanje modela za podršku odlučivanju prilikom izbora pravila isporuke iz Incoterms-a.

4.1 POSTUPAK IZBORA INCOTERMS PRAVILA ISPORUKE ROBE

Metodologija razvijenog modela za evaluaciju uslova isporuke robe obuhvata četiri osnovne faze (Slika 4.1). Prva faza podrazumeva definisanje varijantnih rešenja i kriterijuma za njihovu evaluaciju. Koja rešenja i koji kriterijumi će biti predmet razmatranja i ocene određuje se na osnovu rezultata istraživanja naučne i praktične primene uslova isporuke robe. U tom cilju potrebno je istražiti relevantnu literaturu i sagledati koji uslove isporuke i koji kriterijumi za njihovu evaluaciju se najčešće koriste u istraživačkim radovima i studijama slučaja. Isto tako, ova faza podrazumeva anketno istraživanje praktične primene pojedinih pravila isporuke i faktora koji utiču na njihov izbor u realnim uslovima i lancima snabdevanja. Na osnovu sprovedenih istraživanja moguće je definisati varijantna rešenja i kriterijume evaluacije, odnosno kreirati početnu matricu odlučivanja. U drugoj fazi, nakon što su definisane varijante i kriterijumi, pristupa se oceni kriterijuma. Za ocenu težina kriterijuma u ovom modelu primenjena je MEREK metoda, koja prilikom izračunavanja težina kriterijuma, koristi efekte uklanjanja svakog kriterijuma na ukupne performanse varijanti. Treća faza se odnosi na rangiranje varijantnih rešenja, gde je primenjena MABAC metoda. Razlog zašto je upotrebljena baš MABAC metoda se ogleda u činjenici da ova metoda predstavlja pouzdan i koristan alat za racionalno donošenje odluka i pritom obezbeđuje stabilnost (konzistentnost) rešenja (Pamućar i Ćirović, 2015). U poslednjoj, četvrtoj fazi modela, izvršena je analiza osetljivosti gde je definisano 5 scenarija kako bi se utvrdilo da li će sa promenom težina kriterijuma doći do promene i u rangiranju varijanti.



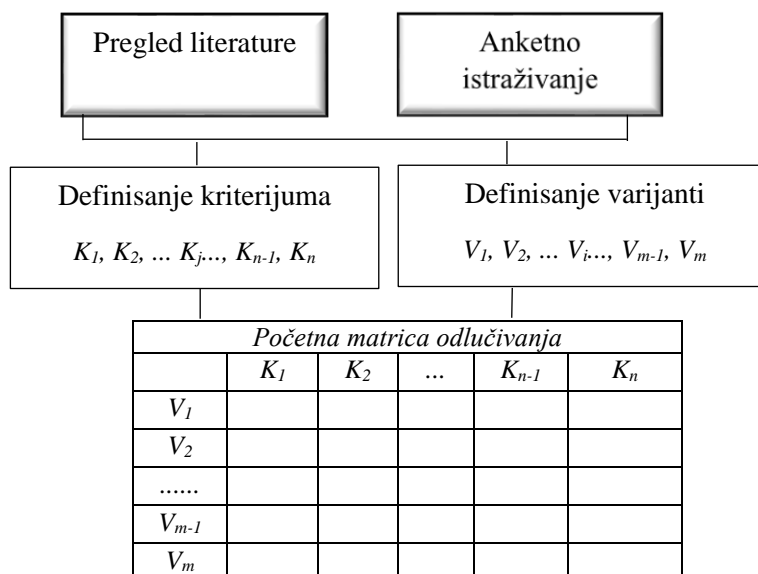
Slika 4.1. Postupak izbora pravila isporuke iz Incoterms-a

4.1.1 Definisane varijantnih rešenja i kriterijuma vrednovanja

Na bazi detaljnog pregleda relevantne literature mogu se uočiti pravila Incoterms-a koja se najčešće koriste u istraživanju i studijama slučaja vezanim za međunarodne lance snabdevanja. Radi se o sledećim uslovima: EXW, FCA, CPT, CIP, DAP, FOB, CIF (Miltikbaevich i Kizi, 2021; Hajdukiewicz i Pera, 2021; Stapleton et al., 2014; Yaakub i Szu, 2017). U razmatranoj literaturi uočeni su i određeni kriterijumi koji se vrlo često koriste za evaluaciju i izbor uslova isporuke robe. Tako na primer, u većini radova navode se sledeći kriterijumi/faktori: pravna regulativa na inostranom tržištu, udaljenost između kupca i prodavca, troškovi transporta i špediterskih usluga, postojanje infrastrukture, rizici na inostranom tržištu, troškovi transporta i skladištenja, odnosi sa ino-partnerom, način plaćanja, vid transporta, odnos težine/vrednosti robe, prihod po glavi stanovnika, karakteristike robe, logističke mogućnosti, carinske procedure, porez, troškovi svake pošiljke, godišnji budžet, pregovaračka snaga, poverenje između prodavca i kupca, vreme transporta, i iskustvo u primeni Incoterms-a (Hajdukiewicz i Pera, 2021; Del Rosal, 2016; Yang, 2021; Suraraksa et al., 2020).

Da bi se što bolje sagledala praktična primena uslova isporuke, od strane prodavca i kupca u različitim lancima snabdevanja, za različita tržišta i različite vrste roba neophodno je sprovesti anketno istraživanje i prikupiti podatke od relevantnih stručnjaka iz prakse. Iz tog razloga, kreiran je poseban anketni upitnik i sprovedeno istraživanje na području tržišta Srbije. Ciljnu grupu ispitanika činili su eksperti sa dugogodišnjim iskustvom iz sektora i kompanija koje se bave spoljnom trgovinom i međunarodnom logistikom. Konstruisan je web anketni upitnik koji se sastoji od 26 pitanja, i to 5 opštih (koja su korišćena za opisivanje uzorka) i 21 pitanje koje se odnosi na konkretnu temu. Istraživanje se bazira na *online* kanalima komunikacije gde su anketni upitnici podeljeni izabranim ispitanicima preko ličnih kontakata, mail adresa, društvenih mreža, *LinkedIn* platforme i specijalizovanih kompanijskih portala.

Na bazi rezultata dobijenih pregledom literature i sprovedenim anketnim istraživanjima moguće je pristupiti definisanju varijantnih rešenja i kriterijuma njihove evaluacije i vrednovanja (Slika 4.2). Varijantna rešenja predstavljaju uslove isporuke iz važećeg Incoterms-a i može ih biti m ($V_1, V_2, V_3, \dots, V_{m-1}, V_m$), a najviše 11. Kriterijumi podrazumevaju faktore koji utiču na izbor uslova isporuke u lancu snabdevanja, a može ih biti n ($K_1, K_2, K_3, \dots, K_{n-1}, K_n$).



Slika 4.2. Varijantna rešenja i kriterijumi odlučivanja

4.1.2 Ocena težina kriterijuma primenom MEREC metode

Prilikom donošenja odluka, značajan uticaj imaju težine kriterijuma koji se koriste za vrednovanje varijanti. U velikom broju slučajeva nemaju svi kriterijumi istu težinu, te je iz tog razloga nastao veliki broj metoda koje se koriste za određivanje težina kriterijuma. Sve te metode se mogu podeliti na subjektivne, objektivne i integrisane. MEREC metoda spada u grupu objektivnih metoda, koja za ocenu težina kriterijuma koristi efekat uklanjanja svakog kriterijuma na performanse varijanti (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021; Lukić, 2023). Većina objektivnih metoda za određivanje težina kriterijuma koriste početne podatke ili matricu odlučivanja. Obično koriste varijacije u performansama različitih varijanti u odnosu na svaki kriterijum. Kriterijumi sa više varijacija imaju veću težinu. Za razliku od tih metoda, MEREC metoda koristi efekte uklanjanja svakog kriterijuma na ukupne performanse varijanti za izračunavanje težina kriterijuma. Kriterijum ima veću težinu kada njegovo uklanjanje dovodi do više efekata na performanse varijanti. Iz tog razloga, a kako bi se dobile objektivne težine kriterijuma u ovom modelu primenjena je upravo MEREC metoda.

Koraci implementacije ove metode opisani su u nastavku (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021; Lukić, 2023).

Korak 1. Definisavanje početne matrice odlučivanja sa n varijanti i m kriterijuma.

Korak 2. Normalizacija matrice odlučivanja primenom jednačine (4.1) u zavisnosti od tipa kriterijuma.

$$n_{ij}^x = \begin{cases} \frac{\min_k x_{kj}}{x_{ij}} & \text{ako je } j \in B \\ \frac{x_{ij}}{\max_k x_{kj}} & \text{ako je } j \in C \end{cases} \quad (4.1)$$

gde n_{ij}^x predstavlja normalizovanu vrednost, B predstavlja skup kriterijuma koji su maksimizacionog karaktera, dok C predstavlja skup kriterijuma minimizacionog karaktera.

Korak 3. Izračunavanje ukupnih performansi varijanti (S_i) primenom jednačine (4.2).

$$S_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)| \right) \right) \quad (4.2)$$

Korak 4. Izračunavanje performansi varijanti sa uklanjanjem svakog kriterijuma (S'_{ij}) primenom jednačine (4.3).

$$S'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{k, k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)| \right) \right) \quad (4.3)$$

Korak 5. Izračunavanje zbira apsolutnih odstupanja uklanjanjem j -tog kriterijuma (E_j) primenom jednačine (4.4).

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad (4.4)$$

Korak 6. Određivanje težina kriterijuma primenom jednačine (4.5).

$$W_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad (4.5)$$

4.1.3 Rangiranje varijantnih rešenja primenom MABAC metode

MABAC metoda je u ovom modelu iskorišćena za rangiranje varijanti. Osnovna ideja ove metode jeste određivanje udaljenosti kriterijumske funkcije svake posmatrane varijante od granične aproksimativne oblasti. Primena MABAC metode se sastoji od sledećih koraka (Pamučar i Čirović, 2015; Božanić et al., 2016).

Korak 1. Formiranje početne matrice odlučivanja X sa m varijanti i n kriterijuma.

Korak 2. Normalizacija početne matrice odlučivanja X primenom jednačine (4.6) za benefitarne kriterijume (maksimizacionog tipa) i jednačine (4.7) za troškovne kriterijume (minimizacionog tipa).

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (4.6)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \quad (4.7)$$

gde x_{ij} , x_i^+ i x_i^- predstavljaju elemente početne matrice odlučivanja, i računaju se kao:

$x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m)$ i predstavlja maksimalne vrednosti posmatranog kriterijuma po varijantama, dok $x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m)$ predstavlja minimalne vrednosti posmatranog kriterijuma po varijantama.

Korak 3. Definisavanje otežane matrice V primenom jednačine (4.8).

$$v_{ij} = w_i * (n_{ij} + 1) \quad (4.8)$$

Korak 4. Određivanje matrice graničnih aproksimativnih oblasti G primenom jednačine (4.9).

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad (4.9)$$

Nakon primene jednačine (4.9) dobija se matrica graničnih aproksimativnih oblasti G koja je formata $n \times 1$ (gde n predstavlja ukupan broj kriterijuma).

Korak 5. Definisavanje matrice udaljenosti varijanti od granične aproksimativne oblasti Q primenom jednačine (4.10).

$$Q = V - G \quad (4.10)$$

Tom prilikom varijanta A_i može da pripada jednoj od tri oblasti, i to: G - graničnoj aproksimativnoj oblasti, G^+ - gornjoj aproksimativnoj oblasti ili G^- - donjoj aproksimativnoj oblasti. Idealna varijanta se nalazi u gornjoj aproksimativnoj oblasti (G^+), dok se anti-idealna varijanta nalazi u donjoj aproksimativnoj oblasti (G^-). Pripadnost varijante A_i aproksimativnoj oblasti određuje se primenom jednačine (4.11).

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{ako je } q_{ij} > 0 \\ G & \text{ako je } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{ako je } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (4.11)$$

Da bi varijanta bila izabrana kao najbolja iz skupa potrebno je da po što većem broju kriterijum pripada gornjoj aproksimativnoj oblasti (G^+).

Korak 6. Finalno rangiranje varijanti na osnovu vrednosti kriterijumskih funkcija primenom jednačine (4.12).

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.12)$$

4.1.4 Analiza osetljivosti

Analiza osetljivosti predstavlja važan segment primene metoda višekriterijumskog odlučivanja. Na osnovu analize osetljivosti donosilac odluka može doneti bolje odluke ako može da odredi koliki je uticaj svakog kriterijuma, tj. koliko je stvarno rangiranje varijanti osetljivo na promene trenutnih težina kriterijuma za odlučivanje (Triantaphyllou i Sánchez, 1997). Tom prilikom, a kako bi se utvrdilo da li težine kriterijuma imaju uticaja na rangiranje varijanti definišu se scenariji. Svaki scenario ima različite težine kriterijuma kako bi se ispitao njihov uticaj na konačno rešenje. Ovaj pristup analize osetljivosti određuje koja je najmanja promena u trenutnim težinama kriterijuma, koje mogu promeniti postojeće rangiranje varijanti. Upravo zato, a kako bi se utvrdilo da li je dobijeno rešenje osetljivo na promenu težina kriterijuma, izvršena je analiza osetljivosti u ovom modelu. U okviru analize osetljivosti definisano je pet scenarija. Težine kriterijuma u prvom scenariju određene su primenom *Entropy* metode. U drugom scenariju za određivanje težine kriterijuma primenjena je CRITIC (engl. *CR*riteria *I*mportance *T*hrough *I*nter-*c*riteria *C*orrelation) metoda. U trećem scenariju primenjena je IDOCRIW (engl. *I*ntegrated *D*etermination of *O*bjective *C*Rriteria *W*eights) metoda. Četvrti scenario je nazvan finansijski s obzirom da je kriterijumima koji su povezani sa finansijama dat veći značaj (težine). S obzirom da brojne kompanije prvenstveno gledaju finansijske indikatore, cilj ovog scenarija jeste da se utvrdi rang varijanti (pravila isporuke) gde su finansijski kriterijumi najznačajniji. Poslednji scenario nazvan je logistički s obzirom da je kriterijumima koji su povezani sa logističkim indikatorima dat najveći značaj.

4.2 ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA I PRIMENE MODELA

U nastavku ovog poglavlja prikazani su rezultati sprovedenog istraživanja, kao i rezultati primene predloženog modela. Na samom početku prikazani su rezultati anketnog istraživanja, dok su kasnije u nastavku prikazani i rezultati primene MEREC i MABAC metoda.

4.2.1 Rezultati anketnog istraživanja

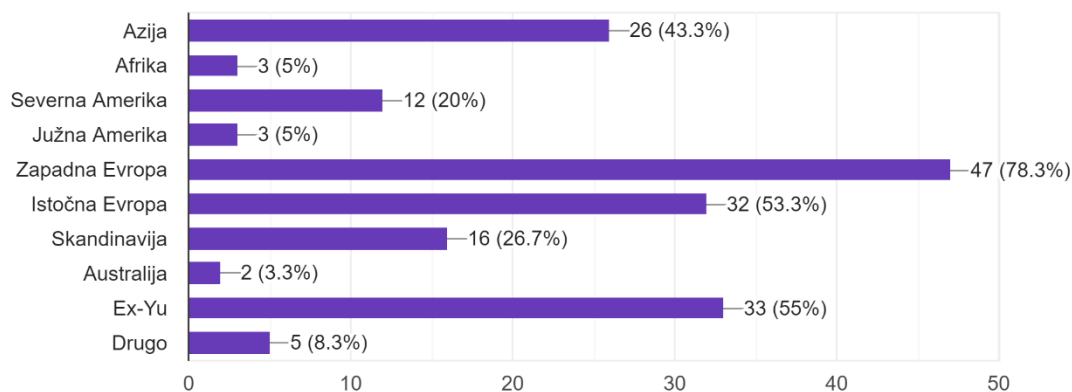
Anketno istraživanje je sprovedeno od sredine maja do sredine septembra 2023. godine. Ukupno je 60 odgovora bilo validno i oni su dalje analizirani i korišćeni u modelu. Rezultati istraživanja su predstavljani i detaljnije analizirani u nastavku.

Kako bi se opisao uzorak koji je anketiran, kao što je već napomenuto, na samom početku ankete definisano je 5 opštih pitanja. Rezultati tih pitanja prikazani su tabelom 4.1.

Tabela 4.1. Deskriptivna statistika anketnog istraživanja

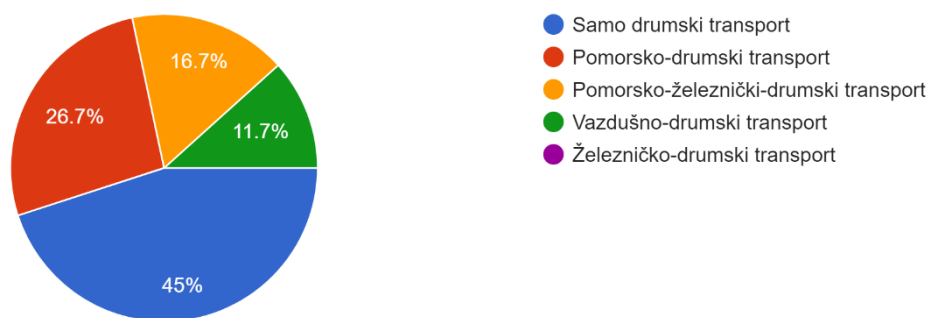
Pitanje	Rezultati (%)
Koja je veličina kompanije u kojoj radite?	Mala (do 50 zaposlenih) – 13,3 Srednja (50-350 zaposlenih) – 26,7 Velika (preko 350 zaposlenih) – 60
Koja je primarna delatnost Vaše kompanije?	Međunarodna logistika i špedicija – 46,7 Ugovorna logistika - 3PL – 8,3 Proizvodnja – 18,3 Trgovina – 21,7 Drugo – 5
Kojom vrstom tokova (uvoza/izvoza) se Vaša kompanija pretežno bavi?	Uvozom – 88,3 Izvozom – 80 Drugo – 25
Na kojoj poziciji radite?	Referent – 45 Supervizor – 8,3 Asistent – 10 Menadžer – 16,7 Direktor – 3,3 Vlasnik kompanije – 3,3 Drugo – 13,3
Koliko godina radnog iskustva imate?	0-1 – 11,7 1-5 – 43,3 5-10 – 18,3 preko 10 – 26,7

Sa druge strane, kada se posmatra broj isporuka na mesečnom nivou, veći deo ispitanika (čak 66,7%) je odgovorilo da ima preko 200 isporuka na mesečnom nivou. Što se prosečne veličine jedne isporuke tiče, onda je obično u rasponu od 16 do 25t (41,7%) i prosečne vrednosti 10 000-50 000€ (45%). Kada se posmatra vrsta robe koja se najviše uvozi/izvozi onda su to: sirovine za proizvodnju (45%), električna oprema (38,3%), automobili i rezervni delovi (38,3%), konditorski proizvodi (28,3%), i dr. Kod ovog pitanja, ispitanici su mogli da se opredele za više od jednog odgovora te je iz tog razloga zbir procentualnih učešća svih odgovora veći od 100%. Kada se posmatraju tržišta sa kojima uvoznici/izvoznici najčešće saraduju, na osnovu slike 4.3 može se videti da su to tržišta Zapadne Evrope (78,3%), Ex-Yu (55%), Istočne Evrope (53,3%) i Azije (43,3%).



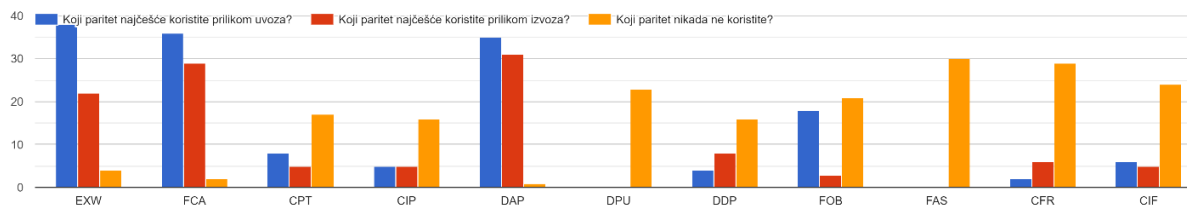
Slika 4.3. Tržišta sa kojima najčešće posluju ispitanici

Pored vrste robe, tržišta, prilikom izbora pravila isporuke iz Incoterms-a jako bitan faktor jeste i raspoloživ vid transporta. Iz tog razloga, ispitanicima je postavljeno pitanje o vidu transporta koji se najčešće koristi prilikom transporta robe. Na osnovu slike 4.4 može se zaključiti da je najdominantniji drumski transport, a zatim slede pomorsko-drumski, pomorsko-železničko-drumski i vazdušno-drumski. Na osnovu rezultata, može se videti da se niko od ispitanika nije opredelio za železničko-drumski transport.



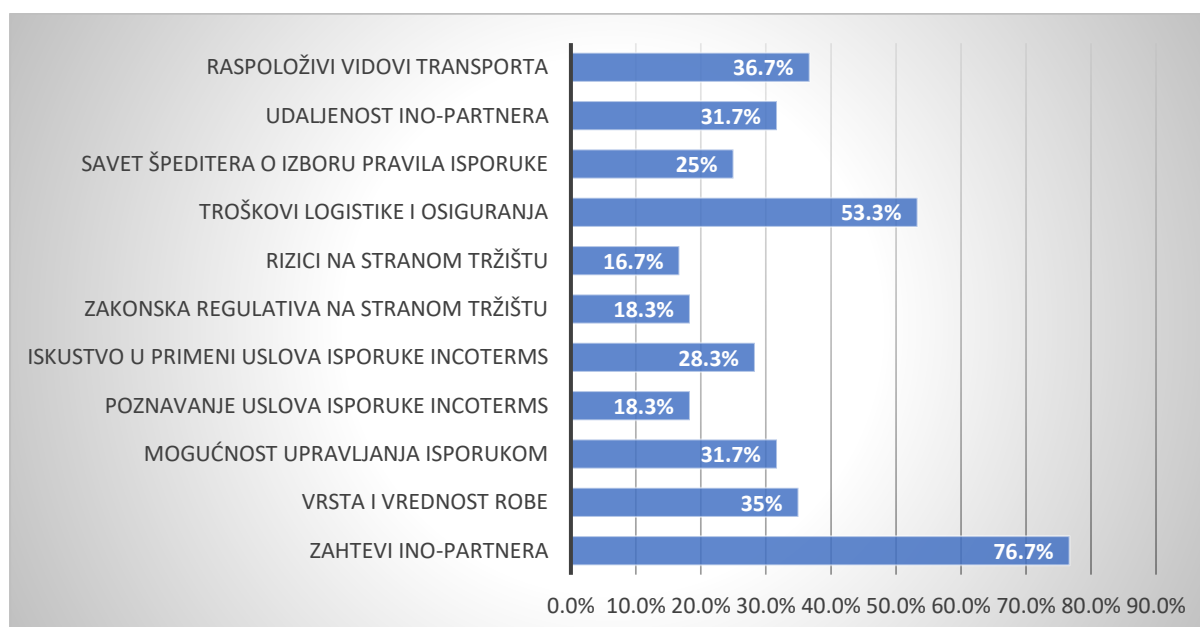
Slika 4.4. Najčešće korišćeni vidovi transporta

Sledeće pitanje koje je jedno od ključnih za ovo istraživanje odnosilo se na primenu konkretnih pravila isporuke iz Incoterms-a 2020. Na osnovu slike 4.5 može se zaključiti da se EXW, FCA, DAP i FOB najčešće koriste prilikom uvoza u Srbiju, dok se prilikom izvoza najčešće koriste DAP, FCA, EXW i DDP. Zanimljivo je da se pravilo isporuke DPU ne koristi ni prilikom uvoza, ni prilikom izvoza, što i ne treba da čudi s obzirom da je to novo pravilo isporuke (koje je uvedeno sa verzijom Incoterms 2020) te kompanije verovatno još uvek nisu krenule sa njegovom primenom. Pored toga, ni FAS pravilo isporuke se ne koristi na osnovu iskustva ispitanika. Rezultati su pokazali da veći broj ispitanika ne koristi određena pravila isporuke u odnosu na one koji primenjuju ta pravila, kao što su: CPT, CIP, DDP, FOB, CFR i CIF.



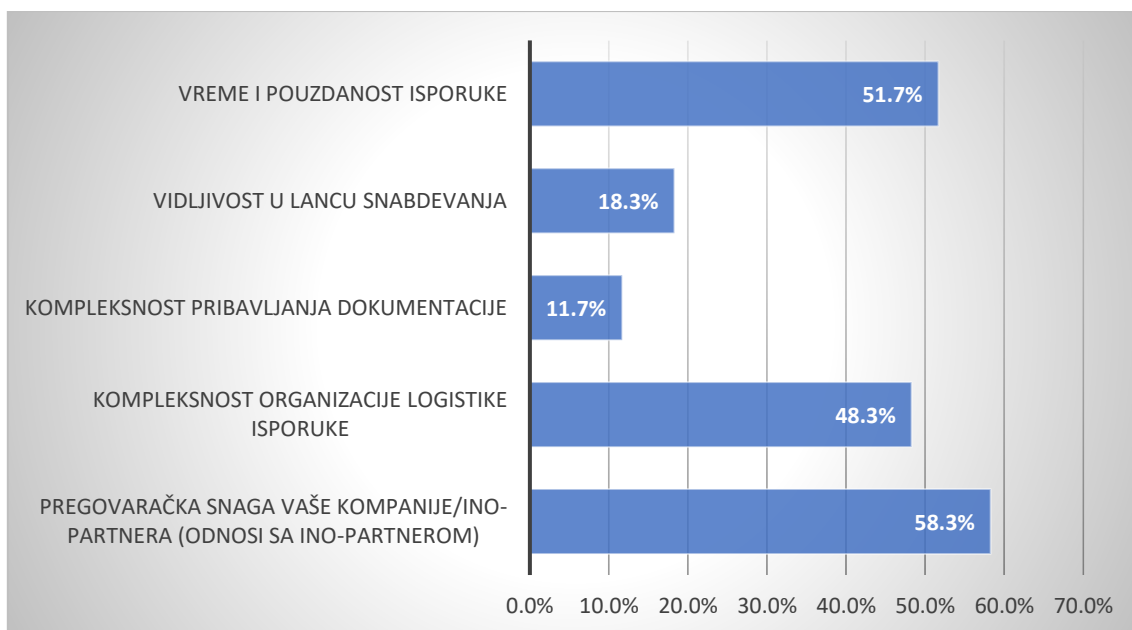
Slika 4.5. Učestalost izbora pravila isporuke iz Incoterms-a 2020

Još jedno od ključnih pitanja koje je postavljeno u ovoj anketi, a koje je iskorišćeno u drugim fazama predloženog modela, jeste pitanje o faktorima koji utiču na izbor određenog pravila isporuke. I kod ovog pitanja, ispitanici su mogli da izaberu više od jednog odgovora. Na osnovu iskustva ispitanika faktori koji najviše utiču na izbor su: zahtevi ino-partnera (76,7%), troškovi logistike i osiguranja (53,3%), raspoloživi vidovi transporta (36,7%), vrsta i vrednost robe (35%), mogućnost upravljanja isporukom (31,7%), udaljenost ino-partnera (31,7%), i dr. (Slika 4.6).



Slika 4.6. Faktori koji utiču na izbor pravila isporuke

Pitanje koje je povezano sa faktorima a koje je bilo postavljeno u anketi je šta od presudnog značaja utiče na izbor pravila isporuke. Na osnovu odgovora ispitanika, može se zaključiti da su to: pregovaračka snaga kompanije/ino-partnera (58,3%), vreme i pouzdanost isporuke (51,7%), kompleksnost organizacije logistike isporuke (48,3%), i dr. (Slika 4.7).



Slika 4.7. Faktori koji su od presudnog značaja prilikom izbora pravila isporuke

Prilikom izbora pravila isporuke, naročito kod kompanija koje ne obavljaju transport robe sopstvenim sredstvima već angažuju špeditere, postoji konsultacija sa špediterom u vezi izbora pravila isporuke (kod čak 70% ispitanika). Sa druge strane, nešto preko polovine ispitanika dopunjava/precizira ugovoreni uslov iz Incoterms-a sa ino-partnerom (51,7%). To je slučaj najčešće kod pravila EXW, DAP i DDP. Što se prednosti primene Incoterms-a tiče, najveći broj ispitanika je naveo da je najveća prednost primene pravila isporuke to što postoje jasno definisane odgovornosti između dve strane (u pogledu obaveza, rizika, troškova). Prilikom primene pravila iz Incoterms-a, često se kako u stručnoj literaturi, tako i u praksi, kao jedan od najvećih problema/prepreka primene navodi nedovoljno poznavanje pravila isporuke. Iz tog razloga, u okviru ovog istraživanja postavljena su pitanja o stepenu poznavanja pravila isporuke kako kod ino-partnera, tako i u kompanijama ispitanika. Na osnovu iskustva ispitanika, najveći broj njih je ocenio poznavanje pravila od strane ino-partnera ocenom 4 (46,7%), slede 3 (35%), 2 (8,3%), 5 (6,7%) i na kraju 1 (3,3%). Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da ispitanici smatraju da ino-partneri imaju prostora za poboljšanje znanja o primeni pravila. Sa druge strane, kada se govori o kompanijama samih ispitanika, najveći broj ispitanika je poznavanje Incoterms-a ocenio sa ocenom 5 (58,3%), a slede 3 (20%), 4 (18,3%) i 1 (3,3%). Na osnovu ovih rezultata može se takođe zaključiti da postoji prostor za unapređenje znanja o primeni pravila isporuke.

4.2.2 Opis varijantnih rešenja i kriterijuma

Na osnovu pregleda literature, ali i rezultata sprovedenog anketnog istraživanja, definisano je devet kriterijuma koji su korišćeni za evaluaciju varijanti u ovom modelu. Prilikom vrednovanja razmatran je lanac snabdevanja (LS) uvoza robe iz Kine u Srbiju sa aspekta kupca (kompanije iz Srbije). Vrednovanje varijanti je izvršeno na skali 1-5 za sve kriterijume. Kriterijumi koji su posmatrani u ovom modelu su:

- zahtevi ino-partnera (K1) - podrazumeva pregovaračku snagu kupca i prodavca. U ovom slučaju, vrednovanje je izvršeno na osnovu rezultata ankete (pravila isporuke koje se češće zahteva i koristi ima veću ocenu),

- troškovi lanca snabdevanja (K2) - Pod troškovima lanca snabdevanja podrazumevaju se svi troškovi koje kupac ima po tom pravilu isporuke a odnose se na organizaciju čitavog lanca snabdevanja (izvoz, početni transport, utovar, glavni transport, istovar, uvoz, krajnji transport, itd.),
- kompleksnost procesa u lancu snabdevanja (K3) - posmatran je obim poslova kao i njihova složenost kojima je kupac izložen kako bi organizovao i dopremio robu po određenom pravilu isporuke,
- uticaj uslova isporuke na cenu proizvoda (K4) - s obzirom da je cena jedan od najznačajnijih faktora konkurentnosti, jako je bitno organizovati jedan LS sa što je moguće nižim troškovima kako bi i cena proizvoda bila niža. Na ovu cenu moguće je uticati upravo pravilnim izborom pravila isporuke (s obzirom da će faktorna cena proizvoda biti niža ukoliko su obaveze prodavca po tom pravilu manje),
- upravljanje lancem snabdevanja (K5) - brojnim kompanijama, naročito onim koje imaju ograničenje u pogledu raspoloživog skladišnog prostora jako je bitno da upravljaju LS, tj. da u svakom trenutku znaju gde je roba i kada stiže u skladište. Iz tog razloga, takve kompanije radije biraju pravila isporuke prema kojima imaju veće obaveze ali angažovanjem sopstvenog prevoznika (ili korišćenjem sopstvenog voznog parka) mogu na efikasan način da upravljaju svojim LS,
- rizici u lancu snabdevanja (K6) - s obzirom da se roba dobrim delom transportuje pomorskim transportom jako je bitno za kupca ko snosi te rizike i da li će robu osigurati tokom transporta. Pod rizikom je posmatrano vreme koliko dugo je kupac izložen riziku, kao i troškovi usled oštećenja/gubitka robe,
- troškovi osiguranja (K7) - Sledeći kriterijum je dosta povezan sa rizikom a odnosi se na trošak ugovaranja osiguranja po određenom pravilu isporuke. Naime, što je kupac duže izložen riziku (ima veće obaveze po određenom pravilu) to će i troškovi osiguranja biti veći,
- vreme isporuke (K8) - kako se po svim pravilima isporuke koja su razmatrana u ovom modelu glavni transport obavlja pomorskim putem pod kriterijumom vreme isporuke nije razmatrano vreme trajanja glavnog transporta već vreme organizacije LS. Dakle, posmatrano je da je vreme organizacije LS (samim tim i transporta) kraće ukoliko to obavi sam kupac (s obzirom da je njemu u interesu da što pre dopremi robu) a da je duže ukoliko to obavi prodavac (ovo je naročito izraženo ukoliko je prodavac velika kompanija sa brojim klijentima), i
- pouzdanost isporuke (K9) - Posmatrano je da je veća pouzdanost ukoliko organizaciju isporuke obavi kupac (s obzirom da mu je u interesu da pronađe pouzdanog transportera), a prilikom carinskih formalnosti i pouzdanog špeditera.

Sa druge strane, kao varijante, razmatrana su pravila isporuke koja se najčešće koriste prilikom uvoza u Srbiju (na osnovu rezultata ankete). U skladu sa tim definisana su četiri varijantna rešenja:

- V1 – Uslov isporuke EXW,
- V2 – Uslov isporuke FCA,
- V3 – Uslov isporuke DAP, i
- V4 – Uslov isporuke FOB.

4.2.3 Utvrđivanje težina kriterijuma

Kao što je već napomenuto u metodologiji, prvo je primenjena MEREC metoda kako bi se utvrdile težine kriterijuma. Kako bi se primenila ova metoda neophodno je bilo definisati početnu matricu odlučivanja (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Početna matrica odlučivanja za utvrđivanje težina kriterijuma

V_i	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Tip kriterijuma	Max	Min	Min	Min	Max	Min	Min	Min	Max
EXW (V1)	5	5	5	1	5	5	5	1	5
FCA (V2)	4	4	4	2	4	4	4	2	4
DAP (V3)	3	1	2	5	2	2	1	4	2
FOB (V4)	1	3	3	3	3	4	3	3	3

Nakon definisanja ove matrice, prešlo se na primenu jednačina (4.1)-(4.5) kako bi se utvrdile težine kriterijuma (Tabela 4.3). Dobljene težine su potom iskorišćene u trećoj fazi predloženog modela, prilikom primene MABAC metode.

Tabela 4.3. Utvrđene težine kriterijuma primenom MEREC metode

K_i	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Težine kriterijuma	0.1892	0.1121	0.0792	0.1439	0.0950	0.0634	0.1121	0.1102	0.0950

4.2.4 Rangiranje varijantnih rešenja

Prvi korak primene MABAC metode jeste definisanje početne matrice odlučivanja. S obzirom da je početna matrica ista kao i kod MEREC metode (Tabela 4.2) ovde nije ponovljena. U sledećem koraku bilo je potrebno izvršiti normalizaciju početne matrice odlučivanja, što je odrađeno primenom jednačina (4.6) i (4.7) u zavisnosti od tipa kriterijuma. Rezultati normalizacije prikazani su tabelom 4.4.

Tabela 4.4. Normalizovana matrica odlučivanja primenom MABAC metode

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
W_i	0.1892	0.1121	0.0792	0.1439	0.0950	0.0634	0.1121	0.1102	0.0950
V1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
V2	0.75	0.25	0.3333	0.75	0.6667	0.3333	0.25	0.6667	0.6667
V3	0.5	1	1	0	0	1	1	0	0
V4	0	0.5	0.6667	0.5	0.3333	0.3333	0.5	0.3333	0.3333

Nakon normalizacije, u ovom koraku, upotrebljene su težine kriterijuma koje su dobijene primenom MEREC metode. Primenom jednačine (4.8) dobijena je otežana matrica odlučivanja (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Otežana matrica odlučivanja primenom MABAC metode

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
V1	0.3784	0.1120	0.0791	0.2877	0.1899	0.0634	0.1120	0.2203	0.1899
V2	0.3311	0.1400	0.1055	0.2518	0.1582	0.0845	0.1400	0.1836	0.1582
V3	0.2838	0.2241	0.1583	0.1438	0.0949	0.1268	0.2241	0.1101	0.0949
V4	0.1892	0.1680	0.1319	0.2158	0.1266	0.0845	0.1680	0.1469	0.1266

U sledećem koraku bilo je potrebno odrediti matricu graničnih aproksimativnih oblasti G (Tabela 4.6) primenom jednačine (4.9).

Tabela 4.6. Matrica graničnih aproksimativnih oblasti

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
G_i	0.2864	0.1559	0.1149	0.2178	0.1379	0.0870	0.1559	0.1599	0.1379

Na kraju, kroz peti korak (definisane matrice udaljenosti varijanti od granične aproksimativne oblasti Q) primenom jednačina (4.10) i (4.11), i šesti korak (rangiranje varijanti na osnovu vrednosti kriterijumskih funkcija) primenom jednačine (4.12) došlo se do rezultata, tj. finalnog ranga varijanti (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Rangiranje varijanti primenom MABAC metode

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	S_i	Rang
V1	0.09	-0.04	-0.03	0.07	0.05	-0.02	-0.04	0.06	0.05	0.17	1
V2	0.04	-0.01	-0.01	0.03	0.02	-0.01	-0.01	0.02	0.02	0.10	2
V3	-0.00	0.06	0.04	-0.07	-0.04	0.04	0.06	-0.05	-0.04	0.00	3
V4	-0.09	0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.09	4

Na osnovu rezultata MABAC metode može se zaključiti da je najbolje rangirana prva varijanta, tj. EXW pravilo isporuke, a zatim slede V2 (FCA), V3 (DAP) i V4 (FOB). Finalni rang varijanti može se prikazati i kao $V1 > V2 > V3 > V4$.

Rezultati primene razvijenog modela pokazali su da se model može veoma jednostavno i brzo implementirati kako bi se došlo do pravovremenog zaključka o izboru pravila isporuke. Ovaj model može olakšati menadžerima u privredi proces donošenja odluke o izboru pravila isporuke iz Incoterms-a. Prednost predloženog modela jeste mogućnost lakog prilagođavanja i za druge situacije (ne samo prilikom uvoza robe iz Kine u Srbiju). Jedine izmene koje je potrebno odraditi jesu izmene povezane sa početnom matricom odlučivanja. Pored toga, rezultati sprovedenog istraživanja takođe mogu dosta pomoći donosiocima odluka da razumeju sve faktore koji utiču na izbor pravila isporuke, ali i da saznaju koja se to pravila najčešće koriste, i na bazi toga doneti odluke koje će unaprediti njihovo poslovanje.

Razvijeni model je primenljiv u realnim sistemima i daje dobru podlogu za izbor uslova isporuke. Na osnovu rezultata primene razvijenog modela može se reći da je hipoteza H2, koja glasi: razvojem modela za ocenu pravila iz Incoterms-a, može se obezbediti odgovarajuća podrška za izbor najpovoljnijih uslova isporuke u međunarodnoj trgovini i logistici, potvrđena.

4.2.5 Rezultati analize osetljivosti

Težine kriterijuma po scenarijima prikazane su tabelom 4.8. Tako definisane težine, primenjene su u MABAC metodi kako bi se utvrdio rang varijanti po scenarijima. Kao što se može videti iz tabele, težine kriterijuma su različite po svim scenarijima tako da nije došlo do preklapanja scenarija (da dva ili više scenarija imaju iste težine kriterijuma).

Tabela 4.8. Težine kriterijuma po scenarijima

Kriterijum	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
K1	0.147	0.096	0.282	0.09	0.07
K2	0.147	0.075	0.113	0.25	0.05
K3	0.064	0.074	0.049	0.05	0.2
K4	0.178	0.224	0.136	0.25	0.04
K5	0.064	0.074	0.082	0.03	0.2

K6	0.057	0.079	0.044	0.03	0.02
K7	0.147	0.075	0.113	0.25	0.02
K8	0.130	0.228	0.100	0.025	0.2
K9	0.064	0.074	0.082	0.025	0.2

Nakon primene MABAC metode dobijeni su rangovi varijanti po različitim scenarijima (Tabela 4.9). Kao što se može videti iz tabele po prvom i trećem scenariju nije došlo do promene u rangiranju varijanti, tj. i dalje je najbolje rangirana varijanta 1 a najlošije varijanta 4. Po drugom i petom scenariju došlo je do zamene mesta 3. i 4. varijante, tako da je po ovim scenarijima najlošije rangirana varijanta 3. Jedina veća razlika u rangiranju nastala je u četvrtom scenariju (finansijskom). Ovaj rezultat i ne treba da čudi s obzirom da je najbolje rangirana varijanta 3 koja predstavlja DAP pravilo isporuke, po kom su troškovi isporuke najniži za kupca. Na osnovu analize osetljivosti može se zaključiti da je dobijeno rešenje poprilično stabilno s obzirom da je samo po jednom scenariju došlo do promene u rang varijanti. Takođe, rezultati su pokazali da promenom težina kriterijuma može doći i do promene u rang, što predstavlja još jednu od prednosti razvijenog modela s obzirom da se jednostavno može prilagoditi potrebama donosioca odluka.

Tabela 4.9. Rangiranje varijanti po scenarijima

Scenario	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
	S_i	Rang	S_i	Rang	S_i	Rang	S_i	Rang	S_i	Rang
V1	0.134	1	0.239	1	0.221	1	-0.020	4	0.257	1
V2	0.081	2	0.123	2	0.115	2	0.019	2	0.120	2
V3	0.039	3	-0.104	4	-0.001	3	0.184	1	-0.127	4
V4	-0.065	4	-0.067	3	-0.144	4	0.004	3	-0.057	3

5. MODEL EVALUACIJE 4PL PROVAJDERA U E-TRGOVINI

Danas, e-trgovina omogućava potrošačima pristup širokom spektru proizvoda na globalnom tržištu, brz i pogodan izbor, kupovinu, naručivanje i plaćanje proizvoda. Potrošači očekuju da će proizvode koje su kupili *online* dobiti veoma brzo, po povoljnim cenama i uslovima isporuke. Međutim, to često nije moguće, jer se globalni lanci snabdevanja realizuju na velikim geografskim udaljenostima, sa čitavim nizom izazova koje treba uspešno prevazići. Sa ciljem da efikasno isporuče proizvode i ispune očekivanja potrošača, prodavci često ovaj posao prepuštaju logističkim provajderima. Tom prilikom potrebno je izvršiti veoma temeljnu evaluaciju logističkih provajdera, zasnovanu na odgovarajućim naučnim pristupima i modelima. Problem prilikom evaluacije može nastati usled nedovoljno pouzdanih ulaznih parametara i informacija koje dodatno otežavaju proces donošenja odluka. Pored svega toga, globalni lanci snabdevanja su često izloženi brojnim poremećajima i nepredvidivim okolnostima. Iz tih razloga, od suštinskog je značaja pronaći rezilijentnog provajdera koji može pružiti podršku u takvim situacijama. Pregledom literature ustanovljeno je da ne postoje modeli koji istovremeno posmatraju e-trgovinu, rezilijentnost i izbor 4PL provajdera.

Značaj redovne isporuke je naročito važan u poslednje vreme, koje je bilo praćeno velikim izazovima naročito za sektor distribucije (pandemija COVID 19, rat u Ukrajini, zagušenje luka, i dr.). Dokaz da broj poremećaja u lancima snabdevanja raste, jeste i istraživanje Statista koje navodi da je broj poremećaja u lancima snabdevanja u 2019. godini iznosio 3 700, dok je u 2021. godini iznosio 11 642, što predstavlja veliki skok i povećanje. Poremećaji u lancima snabdevanja mogu imati veliki uticaj na trgovinske lance, s obzirom da mogu uzrokovati gubitke koji iznose i do 184 miliona \$ u proseku (DHL, 2022).

Sve navedeno jasno ukazuje na ograničenu primenu tradicionalnih i standardnih modela odlučivanja i ukazuje na potrebu razvoja i primene novih integrisanih pristupa koji na adekvatan način tretiraju ovaj problem. Evidentno je da takvi pristupi i modeli nedostaju u dostupnoj literaturi, posebno u praktičnim primenama. Iz tog razloga, u ovoj disertaciji predložen je novi hibridni pristup za evaluaciju rezilijentnih 4PL-ova, sa ciljem pružanja odgovarajuće podrške odlučivanju o isporuci proizvoda u e-trgovini. Značajan doprinos ovog modela ogleda se u činjenici da on povezuje veoma aktuelne i važne aspekte globalnog lanca snabdevanja, kao što su e-trgovina, otpornost i mogućnost poboljšanja isporuke naručenih proizvoda od strane 4PL provajdera.

5.1 STRUKTURA MODELA

Hibridni pristup zasnovan je na metodama *fuzzy* pune konzistentnosti (engl. *fuzzy FUCOM*), teoriji dokaza (engl. *Evidence Theory - ET*), transformaciji zasnovanoj na pravilima (engl. *Rule-Based Transformation - RBT*) i metodi procene ponderisane agregirane sume proizvoda (engl. *Weighted Aggregates Sum Product Assessment - WASPAS*).

5.1.1 Fuzzy FUCOM metoda

Za utvrđivanje težina kriterijuma primenjena je *fuzzy* FUCOM metoda. Implementacija ove metode uključuje sledeće korake (prilagođeno iz (Pamućar i Ecer, 2020; Pajić et al., 2023)).

Korak 1 – Odrediti i rangirati posmatrane kriterijume. U skladu sa pregledom literature definisati kriterijume koji će se koristiti za evaluaciju. Nakon toga, stručnjaci treba da odrede rang kriterijuma u skladu sa značajem kriterijuma. Prvi kriterijum je najznačajniji i stoga treba

da ima najveću težinu. Poslednji kriterijum bi trebalo da bude najmanje značajan. Ovo se može napisati pomoću jednačine (5.1).

$$C_j(1) > C_j(2) > \dots > C_j(k) \quad (5.1)$$

gde k predstavlja rang posmatranog kriterijuma.

Korak 2 – Poređenje kriterijuma. Poređenje se vrši po najznačajnijem kriterijumu primenom *fuzzy* lingvističkih izraza iz prethodno definisane skale. Nakon poređenja dobija se vrednost koeficijenta $\varpi_{C_j(k)}$. *Fuzzy* komparativna značajnost se tada može odrediti pomoću jednačine (5.2).

$$\Phi_{k/(k+1)} = \frac{\varpi_{C_j(k+1)}}{\varpi_{C_j(k)}} = \frac{(\varpi_{C_j(k+1)}^l, \varpi_{C_j(k+1)}^m, \varpi_{C_j(k+1)}^u)}{(\varpi_{C_j(k)}^l, \varpi_{C_j(k)}^m, \varpi_{C_j(k)}^u)} \quad (5.2)$$

Nakon toga, primenom jednačine (5.3) dobija se *fuzzy* vektor uporednog značaja kriterijuma ocenjivanja.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (5.3)$$

gde $\varphi_{k/(k+1)}$ predstavlja značajnost koju kriterijum ranga $C_j(k)$ ima u poređenju sa kriterijumom ranga $C_j(k+1)$.

Korak 3 – Izračunavanje optimalnih *fuzzy* težina. U ovom koraku određuju se *fuzzy* težine posmatranih kriterijuma $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$. Prilikom određivanja težine kriterijuma, moraju biti ispunjena dva uslova prikazana jednačinama (5.4) i (5.5).

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{\frac{k}{k+1}} \quad (5.4)$$

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \varphi_{\frac{k+1}{k+2}} \quad (5.5)$$

Imajući sve prethodno u vidu, može se definisati *fuzzy* linearni model, sa ciljem da se minimizira odstupanje od maksimalne konzistencije (χ), koja je korišćena za dobijanje težina, jednačine (5.6)-(5.12).

$$\text{Min } \chi \quad (5.6)$$

p.o.

$$\left| w_{(k)} - w_{(k+1)} \otimes \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right| \leq \chi, \forall j \quad (5.7)$$

$$\left| w_{(k)} - w_{(k+2)} \otimes \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \varphi_{\frac{k+1}{k+2}} \right| \leq \chi, \forall j \quad (5.8)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j \quad (5.9)$$

$$w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u \quad (5.10)$$

$$w_j^l \geq 0, \forall j \quad (5.11)$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad (5.12)$$

gde je $w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$ i $\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$.

Korak 4 – Defuzzy-fikacija da bi se dobile *crisp* vrednosti. Poslednji korak uključuje *defuzzy*-fikaciju dobijenih vrednosti (w_j^l, w_j^m, w_j^u) , primenom jednačine (5.13), kako bi se dobile *crisp* vrednosti koje će se kasnije koristiti za dobijanje ponderisane matrice odlučivanja u WASPAS metodi. Za *defuzzy*-fikaciju je primenjena GMIR metoda (Tiwari i Vats, 2021).

$$w_j = \frac{w_j^l + 4w_j^m + w_j^u}{6}, j = 1, 2, \dots, n \quad (5.13)$$

5.1.2 Teorija dokaza (ET)

Za konstruisanje početne matrice odlučivanja korišćena je metoda teorije dokaza (ET metoda), poznata i kao Dempster-Šeferova teorija ili D-S teorija, koja predstavlja generalizaciju tradicionalne teorije verovatnoće. Ona uzima u obzir funkcije verovanja umesto funkcija verovatnoće. Naime, donosilac odluke može izraziti određeni stepen verovanja ili u pojedinačni odgovor ili skup mogućih odgovora ili kombinaciju (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023). Kada donosilac odluke daje skup odgovora, to implicira da nema dovoljno informacija da bi se precizno dao jedan odgovor. Važno je napomenuti da nakon razmatranja svih dokaza, stepen verovanja ne mora nužno biti zbir 1 (može biti manji od toga). Da bi primenio ovu teoriju na MCDM probleme Yang (2001) je predložio generalizovanu matricu odlučivanja. Kada se razmatra problem sa M brojem varijanti a_l ($l = 1, \dots, M$) i L brojem kriterijuma e_i ($i = 1, \dots, L$), svaki kriterijum se ocenjuje korišćenjem skupa ocena H_n ($n = 1, \dots, N$). Svaka ocena H_n se smatra pojedinačnim odgovorom, dok se svaki kriterijum e_i smatra izvorom informacija. Skup od N ocena se može definisati pomoću:

$$H = \{H_n, n = 1, \dots, N\} \quad (5.14)$$

gde je H_{n+1} poželjnije u odnosu na H_n , što znači da su H_n i H_l najbolje i najlošije ocene respektivno. Nakon ocenjivanja varijante a_l u odnosu na kriterijum e_i generalizovana struktura uverenja $S(e_i(a_l))$ se dobija primenom jednačine (5.15).

$$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n, \beta_{n,i}(a_l) \right), n = 1, \dots, N; \left(H, \beta_{H,i}(a_l) \right) \right\}, i = 1, \dots, L, l = 1, \dots, M \quad (5.15)$$

gde $\beta_{n,i}(a_l)$ predstavlja stepen uverenja kada se varijanta a_l ocenjuje u odnosu na kriterijum e_i , gde je $\beta_{n,i}(a_l) \geq 0$ i $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) \leq 1$. Kada je $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) = 1$, onda se radi o kompletnoj proceni, dok je u suprotnom reč o nekompletnoj proceni. Takođe, u nekim situacijama nije moguće izvršiti procenu i tada je $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) = 0$. Sa druge strane, $\beta_{H,i}(a_l)$ predstavlja stepen nepotpune procene što znači da varijanta a_l može biti procenjena kao bilo koja vrednost iz skupa H (kada se procenjuje u odnosu na kriterijum e_i) usled nedovoljnih informacija/dokaza. Dva uslova koja se tom prilikom postavljaju su $\beta_{H,i}(a_l) \geq 0$ i $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) + \beta_{H,i}(a_l) \leq 1$.

Kada se ocenjuje određena varijanta u odnosu na određeni kriterijum, mogu se definisati osam potencijalnih ocena koje su korišćene u ovom modelu (Tabela 5.1). Kao što se može videti iz tabele, ocene se razlikuju u zavisnosti od toga da li se radi o kvantitativnom ili kvalitativnom kriterijumu. Kada se procenjuju kvalitativni kriterijumi, $S^i(e_i(a_l))$ predstavlja uverenje koje je rezultat procene varijante a_l za kriterijum e_i koristeći set ocena $H^i = \{H_n^i, n = 1, \dots, N^i\}$, koje još uvek nisu u formi opštih ocena. Stepen uverenja gde se varijanta a_l vrednuje kao H_n^i u odnosu na kriterijum e_i se obeležava kao $\gamma_n^i(a_l)$. Sa druge strane, kada se posmatraju kvantitativne procene, $S^i(e_i(a_l))$ predstavlja uverenje koje je rezultat procene varijante a_l za kriterijum e_i , i koje ima bročanu vrednost ili h_j^i , dok $\gamma_j^i(a_l)$ predstavlja stepen uverenja da je varijanta a_l ocenjena kao vrednost h_j^i za kriterijum e_i .

Tabela 5.1. ET ocene (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023)

Rezultati procene	Matematička formulacija ($i = 1, \dots, L, l = 1, \dots, M$)
Kvalitativne ocene	
Precizne i kompletne	$S^i(e_i(a_l)) = \{(H_n^i, 1.0)\}$
Neprecizne ali kompletne	$S^i(e_i(a_l)) = \{(H_n^i, \gamma_n^i(a_l)), n = 1, \dots, N^i\}, \sum_{n=1}^{N^i} \gamma_n^i(a_l) = 1$
Neprecizne i nekompletne	$S^i(e_i(a_l)) = \{(H_n^i, \gamma_n^i(a_l)), n = 1, \dots, N^i\}, \sum_{n=1}^{N^i} \gamma_n^i(a_l) < 1$
Potpuno nekompletne (nemogućnost ocenjivanja)	n/a (nema informacija na osnovu kojih bi se izvršilo vrednovanje)
Kvantitativne ocene	
Precizne i kompletne	$S^i(e_i(a_l)) = \{(h_j^i, 1.0)\}$
Neprecizne ali kompletne	$S^i(e_i(a_l)) = \{(h_j^i, \gamma_j^i(a_l)), j = 1, \dots, J\}, \sum_{j=1}^J \gamma_j^i = 1$
Neprecizne i nekompletne	$S^i(e_i(a_l)) = \{(h_j^i, \gamma_j^i(a_l)), j = 1, \dots, J\}, \sum_{j=1}^J \gamma_j^i < 1$
Potpuno nekompletne (nemogućnost ocenjivanja)	n/a

5.1.3 Transformacija zasnovana na pravilima - RBT

Da bi se izvršila transformacija različitih oblika informacija o proceni u jedinstveni format primenjena je metoda transformacije zasnovana na pravilima (RBT), koju je 2001 godine razvio i primenio Yang (2001). Ova tehnika je slična procesu normalizacije u tradicionalnim MCDM metodama. Da bi transformisao procenu, donosilac odluke mora da konstruiše pravila ekvivalencije na osnovu svog znanja i iskustva. Procedura transformacije se razlikuje u zavisnosti od vrste kriterijuma, odnosno da li se radi o kvalitativnom ili kvantitativnom kriterijumu. Objašnjenje tehnike transformacije zasnovane na pravilima je dato u nastavku, kako za kvalitativnu tako i za kvantitativnu procenu (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023).

RBT procedura za kvalitativnu procenu

Svaki kvalitativni kriterijum e_i se procenjuje koristeći set ocena $H^i = \{H_n^i, n = 1, \dots, N^i\}$. Nakon toga, izvorna ocena varijante a_l za kriterijum e_i , ili $S^i(e_i(a_l))$ može da se definiše primenom jednačine (5.16).

$$S^i(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n^i, \gamma_n^i(a_l) \right), n = 1, \dots, N^i \right\} \quad (5.16)$$

gde je $\sum_{n=1}^{N^i} \gamma_n^i(a_l) \leq 1$. Nakon toga, svaka ocena H_n^i može da se transformiše u bilo koju ocenu iz skupa opštih ocena H , gde je $H = \{H_n, n = 1, \dots, N\}$ na osnovu njihove ekvivalencije koja je određena prilikom formiranja pravila. Ukoliko oba skupa imaju isti broj ocena ($N^i = N$), i svaka ocena H_n^i je jednaka oceni H_n iz H , onda $S^i(e_i(a_l))$ može lako da se transformiše u generalizovanu strukturu uverenja $S(e_i(a_l))$ primenom jednačine (5.17).

$$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n, \beta_{n,i}(a_l) \right), n = 1, \dots, N \right\} \quad (5.17)$$

U nekim slučajevima, skupovi nemaju isti broj ocena ($N^i \neq N$) i ocena H_n^i nije jednaka jednoj oceni H_n iz H , već je jednaka većem broju ocena iz H . U tom slučaju, samo kada je u pitanju kvalitativna procena, generalizovana struktura uverenja (jednačina 5.17) može da se transformiše primenom jednačine (5.18).

$$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_k, \beta_{k,i}(a_l) \right), k = 1, \dots, N \right\} \quad (5.18)$$

Dakle, ukoliko je H_n^i iz H^i jednako sa ocenom H_k iz H sa stepenom verovatnoće $\alpha_{k,n}$, gde je $0 \leq \alpha_{k,n} \leq 1$ i $\sum_{k=1}^N \alpha_{k,n} = 1$. Onda, ekvivalentno pravilo se može definisati korišćenjem simbola \leftrightarrow kako bi se označila ekvivalentnost, primenom jednačine (5.19).

$$H_n^i \leftrightarrow \left\{ \left(H_k, \alpha_{k,n} \right), k = 1, \dots, N \right\} \quad (5.19)$$

Nakon što su sva pravila ekvivalencije definisana, izvorna procena $S^i(e_i(a_l))$ može da se transformiše u generalizovanu strukturu uverenja $S(e_i(a_l))$, a $\beta_{k,i}(a_l)$ može da se izračuna primenom jednačine (5.20).

$$\beta_{k,i}(a_l) = \sum_{n=1}^{N^i} \alpha_{k,n} \gamma_n^i(a_l), k = 1, \dots, N \quad (5.20)$$

RBT procedura za kvantitativnu procenu

Kako bi se kvantitativne vrednosti transformisale u generalizovanu strukturu uverenja u formi opštih ocena iz skupa $H = \{H_n, n = 1, \dots, N\}$, i neka je h_n^i brojčana vrednost ekvivalentna opštoj oceni H_n , kao što je prikazano jednačinom (5.21).

$$h_n^i \leftrightarrow H_n (n = 1, \dots, N) \quad (5.21)$$

Ukoliko se pretpostavi da vrednost h_j^i predstavlja vrednost nakon procene varijante a_l u odnosu na kriterijum e_i sa stepenom uverenja od $\gamma_j^i(a_l)$, onda se izvorna procena može definisati primenom jednačine (5.22).

$$S^i(e_i(a_l)) = \left\{ \left(h_j^i, \gamma_j^i(a_l) \right), j = 1, \dots, J \right\} \quad (5.22)$$

gde je $0 \leq \gamma_j^i(a_l) \leq 1$ i $\sum_{j=1}^J \gamma_j^i(a_l) \leq 1$. Tokom procene, dva slučaja mogu nastati. U prvom slučaju, postoji samo jedna vrednost h_j^i i u tom slučaju, $\gamma_j^i(a_l)$ iznosi 1. U drugom slučaju, vrednost h_j^i može biti između vrednosti h_n^i i h_{n+1}^i . U tom slučaju, koriste se jednačine (5.23)-(5.25).

$$\beta_{n,i,j}(a_l) = \frac{h_{n+1}^i - h_j^i}{h_{n+1}^i - h_n^i} \quad (5.23)$$

$$\beta_{n+1,i,j}(a_l) = 1 - \beta_{n,i,j}(a_l) \quad (5.24)$$

$$\beta_{k,i,j}(a_l) = 0, k = 1, \dots, N \text{ i } k \neq n \text{ i } k \neq n + 1 \quad (5.25)$$

Takođe, kada je procena neprecizna, ili kada je broj h_j^i jednak J , i svaka vrednost h_j^i sadrži stepen uverenja koji iznosi $\gamma_j^i(a_l)$ onda $\beta_{n,i}(a_l)$ može da se izračuna primenom jednačine (5.26).

$$\beta_{n,i}(a_l) = \sum_{j=1}^J \left(\gamma_j^i \beta_{n,i,j}(a_l) \right) \quad (5.26)$$

Na osnovu prethodnih jednačina, generalizovana struktura uverenja se može dobiti primenom jednačine (5.27).

$$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n, \beta_{n,i}(a_l) \right), n = 1, \dots, N \right\} \quad (5.27)$$

Nakon primene RBT tehnike, izvorne ocene prikazane u tabeli 5.1 mogu se transformisati u generalizovanu strukturu uverenja prikazanu tabelom 5.2. Treba napomenuti da $\beta_{H,i}(a_l)$ predstavlja stepen nepotpune procene koji postoji kada se varijanta a_l može oceniti sa bilo kojom ocenom iz skupa H , što je posledica ili nedostupne ili nepotpune informacije.

Tabela 5.2. Generalizovane strukture uverenja nakon RBT (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023)

Rezultati procene	Matematička formulacija ($i = 1, \dots, L, l = 1, \dots, M$)
Kvalitativne i kvantitativne ocene	
Precizne i kompletne	$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n, \beta_{n,i}(a_l) \right), n = 1, \dots, N \right\}, \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) = 1$
Neprecizne ali kompletne	$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n, \beta_{n,i}(a_l) \right), n = 1, \dots, N \right\}, \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) = 1$
Neprecizne i nekompletne	$S(e_i(a_l)) = \left\{ \left(H_n, \beta_{n,i}(a_l) \right), n = 1, \dots, N; \left(H, \beta_{H,i}(a_l) \right) \right\},$ $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) < 1 \text{ and } \beta_{H,i}(a_l) > 0 \text{ and } \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) + \beta_{H,i}(a_l) = 1$

Potpuno nekompletne (nemogućnost ocenjivanja)	$S(e_i(a_l)) = \{(H, 1.0)\}$
--	------------------------------

Na kraju, nakon utvrđivanja generalizovane strukture uverenja i transformacije, generalizovana matrica odlučivanja se može formirati. U tu svrhu, Yang (2001) je predložio poređenje varijanti na osnovu njihovih korisnosti ($u(H_n)$) koje su zapravo funkcije sa vrednošću između 0 i 1, gde je $u(H_{n+1}) > u(H_n)$. Nakon utvrđivanja korisnosti svih ocena, očekivana korisnost varijante a_l za kriterijum e_i može da se definiše pomoću jednačine (5.28).

$$u(S(e_i(a_l))) = \sum_{n=1}^N (\beta_{n,i}(a_l) \cdot u(H_n)) \quad (5.28)$$

U slučaju nekompletne procene, onda se maksimalna i minimalna korisnost mogu odrediti uz pretpostavku da je $\beta_{H,i}(a_l)$ jednako ili sa najboljom (H_N) ili sa najlošijom ocenom (H_1). Na osnovu ovoga, maksimalna i minimalna korisnost varijante se može odrediti koristeći jednačine (5.29) i (5.30).

$$U_{max}(e_i(a_l)) = \sum_{n=1}^{N-1} (\beta_{n,i}(a_l) \cdot u(H_n)) + (\beta_{N,i}(a_l) + \beta_{H,i}(a_l)) \cdot u(H_N) \quad (5.29)$$

$$U_{min}(e_i(a_l)) = (\beta_{1,i}(a_l) + \beta_{H,i}(a_l)) \cdot u(H_1) + \sum_{n=2}^N (\beta_{n,i}(a_l) \cdot u(H_n)) \quad (5.30)$$

Važno je napomenuti da ako su sve procene kompletne ili je $\beta_H(a_l) = 0$ onda su maksimalna i minimalna korisnost jednake. Kako bi se dobila jedna vrednost koja će se potom iskoristiti u formiranju početne matrice odlučivanja koja se koristi u WASPAS metodi, prosečna vrednost maksimalne i minimalne korisnosti svakog varijantnog rešenja je izračunata primenom jednačine (5.31).

$$U_{avg} = \frac{U_{max} + U_{min}}{2} \quad (5.31)$$

5.1.4 WASPAS metoda

Implementacija WASPAS metode se sastoji od sledećih koraka (Tus i Adali, 2019; Pajić et al., 2023).

Korak 1 – Definisane početne matrice odlučivanja X . U ovom modelu početna matrica odlučivanja je dobijena primenom prethodno opisanih metoda.

Korak 2 – Normalizacija matrice odlučivanja. U zavisnosti od vrste kriterijuma, potrebno je normalizovati matricu primenom jednačine (5.32) za benefitne kriterijume i jednačine (5.33) za troškovne kriterijume.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})}, i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.32)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.33)$$

gde x_{ij}^* predstavlja normalizovanu vrednost i -te varijante u odnosu na j -ti kriterijum.

Korak 3 – Određivanje ukupne relativne važnosti na osnovu WSM metode (engl. *Weighted Sum Model*). Ukupna relativna važnost se utvrđuje za svaku varijantu primenom jednačine (5.34).

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n x_{ij}^* w_j \quad (5.34)$$

Korak 4 – Određivanje ukupne relativne važnosti na osnovu WPM metode (engl. *Weighted Product Model*). Ukupna relativna važnost se utvrđuje za svaku varijantu primenom jednačine (5.35).

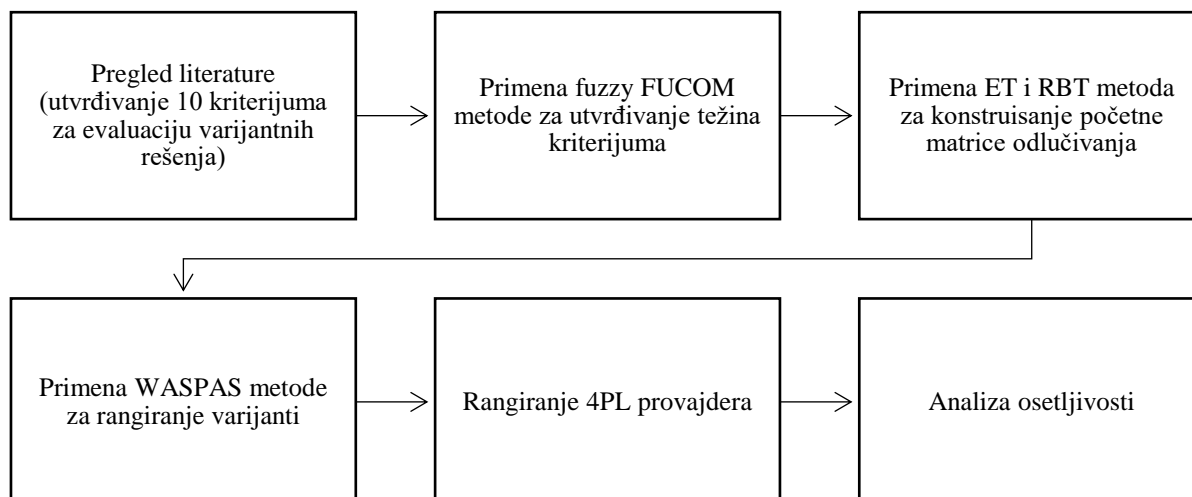
$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (5.35)$$

Korak 5 – Određivanje ukupne relativne važnosti (Q_i) za svaku varijantu. Da bi se odredila vrednost koeficijenta Q_i , donosilac odluke mora da definiše vrednost λ koja može biti između 0 i 1. Na kraju, varijante se rangiraju prema vrednosti Q , pri čemu najbolja varijanta ima najveću vrednost, jednačina (5.36).

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (5.36)$$

5.2 POSTUPAK OCENE 4PL PROVAJDERA

Postupak ocene 4PL provajdera u e-trgovini obuhvatio je više međusobno povezanih i sinhronizovanih koraka, kao što su: definisanje kriterijuma za evaluaciju varijantnih rešenja; utvrđivanje težina kriterijuma primenom *fuzzy* FUCOM metode, konstruisanje početne matrice odlučivanja primenom ET i RBT metoda, rangiranje varijantnih rešenja na bazi definisanih kriterijuma primenom WASPAS metode, rangiranje 4PL provajdera i analiza osetljivosti modela (Slika 5.1).



Slika 5.1. Postupak ocene 4PL provajdera (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Predloženi postupak testiran je i primenjen na primeru isporuke robe u e-trgovini od strane globalnog *online* trgovca, koji na tržište Zapadnog Balkana i Jugoistočne Evrope prodaje proizvode koji potiču iz Kine i zemalja Dalekog istoka. Ova kompanija koristi usluge nekoliko različitih logističkih provajdera sa globalnog i lokalnog tržišta. Kompanija već duže vreme radi na projektu angažovanja 4PL provajdera, koji bi kroz proces logističkog outsorcinga preuzeo kompletne aktivnosti vezane za planiranje, projektovanje i upravljanje lancem snabdevanja i isporukom proizvoda do krajnjih potrošača, sa kompletnom logističkom uslugom. Evaluacija je obuhvatila pet varijanti (V1-V5), odnosno pet globalnih 4PL provajdera, čije usluge se koriste na drugim tržištima i najozbiljniji su kandidati za angažovanje u ovim lancima snabdevanja. U nastavku je prikazan postupak kao i rezultati sprovedene evaluacije.

5.2.1 Određivanje težina kriterijuma primenom fuzzy FUCOM metode

Pregledom literature ustanovljeno je da postoji veliki broj kriterijuma koji se koriste prilikom evaluacije i izbora logističkih provajdera. Kako se isporuka roba u globalnim lancima snabdevanja odvija u vrlo promenljivom i dinamičnom okruženju, punom izazova i poremećaja prilikom definisanja osnovni fokus je bio na rezilijentnosti i e-trgovini. Istraživano je koji kriterijumi se najčešće koriste za rešavanje sledećih problema: izbor i evaluacija 3PL ili 4PL provajdera, izbor rezilijentnog provajdera i izbor 3PL/4PL provajdera u e-trgovini.

Na osnovu pregleda relevantne literature odabrano je 10 kriterijuma koji su korišćeni za evaluaciju i izbor 4PL provajdera za potrebe e-trgovine i to: cena usluge (K1), vreme realizacije usluge (K2), kvalitet usluge (K3), IT mogućnosti (K4), izgled lanca snabdevanja (K5), bezbednosne zalihe (K6), fleksibilnost (K7), saradnja (K8), redundantnost (K9) i upravljanje rizikom (K10) (Tabela 5.3).

Tabela 5.3. Kriterijumi za evaluaciju 4PL (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	Opis	Reference
Cena usluge	Cena isporuke proizvoda	(Naseem et al., 2021; Nuengphasuk i Samanchuen, 2019; Memari et al., 2019; Aggarwal, 2019; Wang et al., 2021; Datta et al., 2013; Sařabun i Urbaniak, 2020)

Vreme realizacije usluge	Vreme isporuke (od trenutka poručivanja pa do isporuke krajnjem korisniku)	(Naseem et al., 2021; Memari et al., 2019; Aggarwal, 2019; Wang et al., 2021; Datta et al., 2013; Sařabun i Urbaniak, 2020)
Kvalitet usluge	Kvalitet usluge je vrednovan kroz 3 dimenzije: procenat grešaka, trošak oštećenja i isporuka na vreme	(Naseem et al., 2021; Nuengphasuk i Samanchuen, 2019; Memari et al., 2019; Wang et al., 2021; Datta et al., 2013)
IT mogućnosti	Broj rešenja koja omogućavaju praćenje, vidljivost i informacije u realnom vremenu duž celog lanca	(Naseem et al., 2021; Nuengphasuk i Samanchuen, 2019; Aggarwal, 2019; Datta et al., 2013)
Izgled lanca snabdevanja	Disperzija i pokrivenost globalne mreže od strane 4PL provajdera	(Yazdi et al., 2022; Karl et al., 2018; Singh et al., 2019)
Bezbednosne zalihe	Kapacitet skladištenja 4PL-a koji bi se mogao upotrebiti kako bi se pokrila tražnja u slučaju poremećaja i nepredviđenih situacija	(Sureeyatanapas et al., 2020; Hosseini i Khaled, 2019; Hasan et al., 2020; Pramanik et al., 2017)
Fleksibilnost	Fleksibilnost je vrednovana kroz 3 dimenzije: broj različitih vrsta robe koje 4PL može da isporuči, vreme odziva i kapacitet resursa	(Naseem et al., 2021; Nuengphasuk i Samanchuen, 2019; Memari et al., 2019; Aggarwal, 2019; Wang et al., 2021; Datta et al., 2013; Sařabun i Urbaniak, 2020)
Saradnja	Kvalitet saradnje i broj godina saradnje između trgovca i 4PL provajdera	(Yazdi et al., 2022; Karl et al., 2018; Singh et al., 2019; Mohammed et al., 2021)
Redundantnost	Broj 3PL-a sa kojima posmatrani 4PL saraduje	(Karl et al., 2018; Mohammed et al., 2021; Kamalahmadi i Parast, 2016)
Upravljanje rizikom	Broj standarda kvaliteta koje 4PL poseduje	(Karl et al., 2018; Singh et al., 2019; Mohammed et al., 2021)

Kada je u pitanju isporuka robe, posebno u e-trgovini, prva tri kriterijuma su veoma bitna, s obzirom da cena, vreme realizacije i kvalitet usluge direktno utiču na konkurentnost kompanije. Cena usluge je definisana kao cena koju kompanija treba da plati za usluge koje pružaju 4PL provajderi. Vreme realizacije usluge je vreme potrebno za isporuku robe (posmatrano od trenutka poručivanja pa sve do trenutka isporuke proizvoda krajnjem potrošaču). Kvalitet usluge se opisuje kroz tri ključne dimenzije: procenat grešaka, trošak oštećenja i isporuka na vreme. Svaka od dimenzija se posebno vrednuje na definisanoj skali (1-5). Vrednosti za svaku od dimenzija su prikazane u tabeli 5.4.

Tabela 5.4. Ocene za različite dimenzije kvaliteta usluge (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Dimenzija	1	2	3	4	5
Procenat grešaka	0-5% grešaka	6-10% grešaka	11-15% grešaka	16-20% grešaka	više od 20% grešaka
Trošak oštećenja	bez oštećenja	minimalna oštećenja (1% - 10% trošak oštećenja)	srednja oštećenja (11% - 20% trošak oštećenja)	velika oštećenja (21% to 40% trošak oštećenja)	veoma velika oštećenja (više od 40% trošak oštećenja)
Isporuka na vreme	u 95-100 % je isporuka bila na vreme	u 85-94% je isporuka bila na vreme	u 75-84% je isporuka bila na vreme	u 65-74% je isporuka bila na vreme	u manje od 65% je isporuka bila na vreme

Sledeći kriterijum koji je posmatran u ovom modelu su IT mogućnosti. Ovaj kriterijum je uzet u obzir jer je vidljivost u lancu snabdevanja, kao i blagovremeno informisanje, veoma važan faktor, posebno kada se uzme u obzir rezilijentnost. Na osnovu pravovremenih informacija moguće je pravilno upravljati svim procesima u celom lancu snabdevanja. Izgled lanca snabdevanja je značajan i direktno utiče na brzinu isporuke, a u ovom modelu je posmatran kroz 2 dimenzije: broj kancelarija u svetu koji određeni 4PL ima i broj zemalja u kojima taj 4PL provajder posluje. Bezbednosne zalihe predstavljaju ukupan kapacitet koji 4PL provajder ima (uključujući kapacitete 3PL provajdera sa kojima posmatrani 4PL radi). Važno je istaći da on ne predstavlja količinu zaliha koju treba držati, već predstavlja maksimalan kapacitet koji 4PL može da obezbedi za skladištenje zaliha u slučaju poremećaja u lancu snabdevanja. Fleksibilnost, kao i kvalitet usluge, se posmatra i procenjuje kroz sledeće dimenzije: broj različitih vrsta robe koje 4PL može da isporuči, vreme odziva (na iznenadne promene na tržištu i potražnji) i kapacitet resursa. Ovaj kriterijum je veoma važan kada se govori o lancima snabdevanja, s obzirom na to da vreme odziva i kapacitet resursa mogu direktno uticati na mogućnost kao i na brzinu isporuke robe. Za procenu ovog kriterijuma korišćena je skala (1-4) (Tabela 5.5).

Tabela 5.5. Ocene za različite dimenzije fleksibilnosti (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Dimenzija	1	2	3	4
Broj različitih vrsta robe koje 4PL može da isporuči	4PL može da otpremi 15 ili više vrsta robe	4PL može da otpremi 13-15 vrsta robe	4PL može da otpremi 10-12 vrsta robe	4PL može da otpremi manje od 10 vrsta robe
Vreme odziva	4PL odgovara brzo (pre očekivanja klijenta)	4PL odgovara na vreme	4PL odgovara malo sporije (do 5h)	4PL odgovara veoma sporo (preko 5h)
Kapacitet resursa	4PL ima kapacitet u preko 95% slučajeva	4PL ima kapacitet u 80-95% slučajeva	4PL ima kapacitet u 65-80% slučajeva	4PL ima kapacitet u 50-65% slučajeva

Saradnja se često koristi kao kriterijum prilikom ocenjivanja i izbora provajdera, s obzirom na to da veći stepen saradnje utiče na bolje poslovanje i provajdera i kompanije koja svoje usluge autorsuje. U ovom modelu ovaj kriterijum je ocenjen kroz 2 dimenzije: kvalitet saradnje i broj godina saradnje sa 4PL provajderom. Kada je reč o kvalitetu saradnje, u ovom modelu su utvrđena i posmatrana 4 tipa saradnje, koji su opisani u nastavku. Deljenje informacija se odnosi na otvoreno deljenje i razmenu strateških tehničkih informacija. Fleksibilnost se odnosi na spremnost svakog partnera da se prilagodi promenama u okruženju. Treći tip saradnje podrazumeva harmoniju kod koje obe strane u poslovnom odnosu zanemaruju oportunitetne troškove. Zajednički rad se odnosi na zajedničko ili međusobno donošenje odluka i rešavanje problema (Wilson i Nielson, 2001). Redundantnost je posmatrana kao broj 3PL kompanija sa kojima određeni 4PL radi, a upravljanje rizikom kao broj standarda koje je određeni 4PL implementirao.

S obzirom na kvalitativni karakter, neprecizno i nejasno definisanje vrednosti pojedinih kriterijuma od strane logističkih eksperata, za ocenjivanje kriterijuma primenjena je FUCOM metoda u *fuzzy* okruženju. U skladu sa tim, bilo je neophodno definisati *fuzzy* lingvističku skalu kao i trouglaste *fuzzy* funkcije pripadnosti koje su korišćene u ovom modelu (Tabela 5.6). Za potrebe ovog modela korišćeni su trouglasti *fuzzy* brojevi (engl. *Triangular Fuzzy Numbers*)

Tabela 5.6. Fuzzy lingvistička skala (Pamučar i Ecer, 2020)

Lingvistički izraz	Funkcija pripadnosti
Podjednako značajno (EI)	(1,1,1)
Slabo važno (WI)	(2/3,1,3/2)
Prilično važno (FI)	(3/2,2,5/2)
Vrlo važno (VI)	(5/2,3,7/2)
Apsolutno važno (AI)	(7/2,4,9/2)

Nakon definisanja lingvističkih pojmova angažovani su stručnjaci kako bi ocenili kriterijume. Naime, u prvom koraku primene ove metode definiše se redosled kriterijuma (od najznačajnijeg do najmanje značajnog). Na osnovu toga, 5 stručnjaka, sa više od 15 godina iskustva u logistici i više od 5 godina u e-trgovini, izvršili su evaluaciju koristeći lingvističke izraze. Prosečne vrednosti ocena stručnjaka prikazane su u tabeli 5.7, koje su zatim prebačene u TFN primenom skale definisane u tabeli 5.6.

Tabela 5.7. Lingvistička ocena kriterijuma (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	Lingvistička oznaka	TFN
Cena usluge (K1)	EI	(1,1,1)
Vreme realizacije usluge (K2)	EI	(1,1,1)
Kvalitet usluge (K3)	EI	(1,1,1)
IT mogućnosti (K4)	WI	(2/3,1,3/2)
Izgled lanca snabdevanja (K5)	WI	(2/3,1,3/2)
Bezbednosne zalihe (K6)	WI	(2/3,1,3/2)
Fleksibilnost (K7)	FI	(3/2,2,5/2)
Saradnja (K8)	VI	(5/2,3,7/2)
Redundantnost (K9)	AI	(7/2,4,9/2)
Upravljanje rizikom (K10)	AI	(7/2,4,9/2)

Primenom jednačine (5.2), uporedni značaj kriterijuma je definisan i prikazan u nastavku.

$$\varphi_{C1/C2} = \varpi_{C1}/\varpi_{C2} = (1,1,1)/(1,1,1) = (1,1,1)$$

$$\varphi_{C2/C3} = \varpi_{C2}/\varpi_{C3} = (1,1,1)/(1,1,1) = (1,1,1)$$

$$\varphi_{C3/C4} = \varpi_{C3}/\varpi_{C4} = (2/3,1,3/2)/(1,1,1) = (0.67,1,1.5)$$

$$\varphi_{C4/C5} = \varpi_{C4}/\varpi_{C5} = (2/3,1,3/2)/(2/3,1,3/2) = (0.45,1,2.24)$$

$$\varphi_{C5/C6} = \varpi_{C5}/\varpi_{C6} = (2/3,1,3/2)/(2/3,1,3/2) = (0.45,1,2.24)$$

$$\varphi_{C6/C7} = \varpi_{C6}/\varpi_{C7} = (3/2,2,5/2)/(2/3,1,3/2) = (1,2,3.73)$$

$$\varphi_{C7/C8} = \varpi_{C7}/\varpi_{C8} = (5/2,3,7/2)/(3/2,2,5/2) = (1,1.5,2.33)$$

$$\varphi_{C8/C9} = \varpi_{C8}/\varpi_{C9} = (7/2,4,9/2)/(5/2,3,7/2) = (1,1.33,1.8)$$

$$\varphi_{C9/C10} = \varpi_{C9}/\varpi_{C10} = (7/2,4,9/2)/(7/2,4,9/2) = (0.78,1,1.29)$$

Na osnovu ovih vrednosti, može se definisati vektor $\Phi = ((1,1,1), (1,1,1), (0.67,1,1.5), (0.45,1,2.24), (0.45,1,2.24), (1,2,3.73), (1,1.5,2.33), (1,1.33,1.8), (0.78,1,1.29))$. Kako bi se definisao fuzzy FUCOM model, primenjena je jednačina (5.5) kako bi se dobila i ostala ograničenja.

$$\varpi_{C1}/\varpi_{C3} = (1,1,1)$$

$$\varpi_{C2}/\varpi_{C4} = (0.67,1,1.5)$$

$$\varpi_{C3}/\varpi_{C5} = (0.30,1,3.36)$$

$$\varpi_{C4}/\varpi_{C6} = (0.20,1,5.02)$$

$$\varpi_{C5}/\varpi_{C7} = (0.45,2,8.35)$$

$$\varpi_{C6}/\varpi_{C8} = (1,3,8.69)$$

$$\varpi_{C7}/\varpi_{C9} = (1,1.99,4.19)$$

$$\varpi_{C8}/\varpi_{C10} = (0.78,1.33,2.32)$$

Nakon utvrđivanja svih ograničenja definisan je prikazani model koji je potom rešen koristeći LINGO softver.

Min χ

p.o.

$$\begin{aligned}
\left| \frac{w_1^l}{w_2^u} - 1 \right| &\leq \chi, \left| \frac{w_1^m}{w_2^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_1^u}{w_2^l} - 1 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_2^l}{w_3^u} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2^m}{w_3^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2^u}{w_3^l} - 1 \right| \\
&\leq \chi; \left| \frac{w_3^l}{w_4^u} - 0.67 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3^m}{w_4^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3^u}{w_4^l} - 1.5 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_4^l}{w_5^u} - 0.45 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_4^m}{w_5^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4^u}{w_5^l} - 2.24 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_5^l}{w_6^u} - 0.45 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5^m}{w_6^m} - 1 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_5^u}{w_6^l} - 2.24 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_6^l}{w_7^u} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_6^m}{w_7^m} - 2 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_6^u}{w_7^l} - 3.73 \right| \\
&\leq \chi; \left| \frac{w_7^l}{w_8^u} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_7^m}{w_8^m} - 1.5 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_7^u}{w_8^l} - 2.33 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_8^l}{w_9^u} - 1 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_8^m}{w_9^m} - 1.33 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_8^u}{w_9^l} - 1.8 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_9^l}{w_{10}^u} - 0.78 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_9^m}{w_{10}^m} - 1 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_9^u}{w_{10}^l} - 1.29 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_1^l}{w_3^l} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_1^m}{w_3^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_1^u}{w_3^u} - 1 \right| \\
&\leq \chi; \left| \frac{w_2^l}{w_4^u} - 0.67 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2^m}{w_4^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2^u}{w_4^l} - 1.5 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_3^l}{w_5^u} - 0.3 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_3^m}{w_5^m} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3^u}{w_5^l} - 3.36 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_4^l}{w_6^u} - 0.2 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4^m}{w_6^m} - 1 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_4^u}{w_6^l} - 5.02 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_5^l}{w_7^u} - 0.45 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5^m}{w_7^m} - 2 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5^u}{w_7^l} - 8.35 \right| \\
&\leq \chi; \left| \frac{w_6^l}{w_8^u} - 1 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_6^m}{w_8^m} - 3 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_6^u}{w_8^l} - 8.69 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_7^l}{w_9^u} - 1 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_7^m}{w_9^m} - 1.99 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_7^u}{w_9^l} - 4.19 \right| \leq \chi; \left| \frac{w_8^l}{w_{10}^u} - 0.78 \right| \\
&\leq \chi, \left| \frac{w_8^m}{w_{10}^m} - 1.33 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_8^u}{w_{10}^l} - 2.32 \right| \\
&\leq \chi; \sum_{j=1}^{10} \frac{(w_j^l + 4w_j^m + w_j^u)}{6} = 1; w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u; j \\
&= 1, \dots, 10; w_j^l, w_j^m, w_j^u \geq 0; j = 1, \dots, 10
\end{aligned}$$

Rešavanjem predstavljenog modela dobijene su optimalne lokalne vrednosti težina sa odstupanjem od maksimalne konzistencije $\chi = 0.04$:

$$w_j = \left(\begin{array}{l} (0.1242, 0.1242, 0.1242), (0.1242, 0.1242, 0.1242), (0.0822, 0.1411, 0.1411), \\ (0.0661, 0.1626, 0.1641), (0.0545, 0.1339, 0.1339), (0.0411, 0.1206, 0.1206), \\ (0.0211, 0.0813, 0.0830), (0.0187, 0.0542, 0.0631), (0.0298, 0.0607, 0.0607), (0.0453, 0.0723, 0.0778) \end{array} \right)^T$$

Pošto su dobijene *fuzzy* težine a kako bi se nastavilo sa primenom drugih metoda potrebno je odrediti *crisp* vrednost težina te je iz tog razloga primenjena GMIR metoda (jednačina 5.13). Nakon implementacije ove jednačine, dobijene su vrednosti težina kriterijuma koje su zatim korišćene u WASPAS metodi.

$$w_j = (0.124, 0.124, 0.131, 0.147, 0.121, 0.107, 0.072, 0.050, 0.056, 0.069)^T$$

5.2.2 Određivanje početne matrice odlučivanja primenom ET i RBT

S obzirom na to da postoji određena doza neizvesnosti prilikom procene 4PL provajdera, kombinacija ET i RBT metoda je primenjena za konstruisanje početne matrice odlučivanja. Prednost primene ET se ogleda u činjenici da se razmatraju funkcije verovanja umesto funkcija verovatnoće. Na osnovu ovoga, donosilac odluke može izraziti stepen uverenja koji može biti ili pojedinačni odgovor ili skup mogućih odgovora, ili čak njihova kombinacija. Takođe, primena ET omogućava nepotpunu procenu, što je posebno prisutno kada se radi o provajderima sa kojima saradnja tek počinje, pa neke informacije nisu dostupne, što tradicionalne MCDM metode ne dozvoljavaju. Da bi se dobile jasne vrednosti potrebne za definisanje početne matrice odlučivanja, primenjena je RBT metoda. Ova tehnika je razvijena da transformiše različite oblike informacija o proceni u jasne vrednosti, kao što je proces normalizacije u tradicionalnom MCDM.

Na osnovu definisanih kriterijuma koji su korišćeni u ovom radu, obavljen je intervju sa 5 stručnjaka iz oblasti e-trgovine u cilju definisanja skala procene za svaki kriterijum kao i definisanja pravila ekvivalencije. Na osnovu informacija dobijenih od njih definisane su skale procene (Tabela 5.8). Kao što je već pomenuto, neki od kriterijuma su ocenjivani na osnovu nekoliko podkriterijuma. Da bi se postavila konačna pravila definisane su sve moguće kombinacije podkriterijuma koje se najčešće javljaju.

Tabela 5.8. Skale za ocenu kriterijuma (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	Podkriterijum	Skala procene
Cena usluge	/	Ocene A-C (A) – 4PL može da realizuje uslugu sa troškovima od 16.000€ (B) – 4PL može da realizuje uslugu sa troškovima do 20.000€ (C) - 4PL može da realizuje uslugu sa troškovima preko 20.000€
Vreme realizacije usluge	/	Ocene A-D (A) – vreme realizacije usluge je do 10 dana (B) – vreme realizacije usluge je do 14 dana (C) – vreme realizacije usluge je do 30 dana (D) – vreme realizacije usluge je preko 30 dana
Kvalitet usluge	Procenat grešaka Trošak oštećenja Isporuka na vreme	Ocene A-E (A) – 0-5% grešaka bez oštećenja i sa isporukom na vreme u 95-100% slučajeva (B) – 6-10% grešaka sa minimalnim oštećenjem i sa isporukom na vreme u 85-94% slučajeva (C) – 11-15% grešaka sa srednjim oštećenjem i sa isporukom na vreme u 75-84% slučajeva (D) – 16-20% grešaka sa velikim oštećenjem i sa isporukom na vreme u 65-74% slučajeva (E) – više od 20% grešaka i veoma velikim oštećenjem i sa isporukom na vreme u manje od 65% slučajeva
IT mogućnosti	/	Ocene A-E – 4PL pruža praćenje duž celog lanca (od otpreme do isporuke) – 4PL daje broj za praćenje (ID) pošiljke nakon otpremanja

		<ul style="list-style-type: none"> – 4PL daje broj za praćenje (ID) pošiljke na sajtu kurirske službe – 4PL daje kontakt broj za praćenje statusa pošiljke – 4PL ne pruža mogućnost praćenja pošiljke
Izgled lanca snabdevanja	<p>Broj kancelarija u svetu</p> <p>Broj zemalja u kojima 4PL radi</p>	<p>Ocene A-C</p> <p>(A) – 4PL ima preko 2000 kancelarija i radi u preko 200 zemalja</p> <p>(B) – 4PL ima 1500-2000 kancelarija i radi u 150-200 zemalja</p> <p>(C) – 4PL ima do 1500 kancelarija i radi u manje od 150 zemalja</p>
Bezbednosne zalihe	/	<p>Ocene A-D</p> <p>(A) – 4PL sa svojim 3PL partnerima ima preko 20 miliona m² skladišnog kapaciteta</p> <p>(B) – 4PL sa svojim 3PL partnerima ima 15-20 miliona m² skladišnog kapaciteta</p> <p>(C) – 4PL sa svojim 3PL partnerima ima 10-15 miliona m² skladišnog kapaciteta</p> <p>(D) – 4PL sa svojim 3PL partnerima ima do 10 miliona m² skladišnog kapaciteta</p>
Fleksibilnost	<p>Broj različitih vrsta robe koje 4PL može da isporuči</p> <p>Vreme odziva</p> <p>Kapacitet resursa</p>	<p>Ocene A-D</p> <p>(A) – 4PL može da isporuči 15 ili više vrsta robe, odziva se brzo i ima kapacitet u više od 95% slučajaja</p> <p>(B) – 4PL može da isporuči 13-15 vrsta robe, odziva se na vreme i ima kapacitet u 80-95% slučajaja</p> <p>(C) – 4PL može da isporuči 10-12 vrsta robe, odziva se malo sporije i ima kapacitet u 65-80% slučajaja</p> <p>(D) – 4PL može da isporuči manje od 10 vrsta robe, odziva se veoma sporo i ima kapacitet u 50-65% slučajaja</p>
Saradnja	<p>Kvalitet saradnje</p> <p>Broj godina saradnje sa 4PL provajderom</p>	<p>Ocene A-D</p> <p>(A) – kompanije radi zajedno sa 4PL provajderom preko 5 godina (I tip saradnje)</p> <p>(B) – kompanija je u harmoniji sa 4PL provajderom 3-5 godina (II tip saradnje)</p> <p>(C) – kompanija je fleksibilna sa 4PL provajderom i saraduje 1-3 godine (III tip saradnje)</p> <p>(D) – kompanija samo deli informacije sa 4PL provajderom i saraduje manje od godinu dana (IV tip saradnje)</p>
Redundantnost	/	Broj 3PL provajdera sa kojima određeni 4PL provajder radi
Upravljanje rizikom	/	Broj standarda kvaliteta koje 4PL ima

S obzirom da sledeći korak podrazumeva definisanje pravila ekvivalencije za svaki kriterijum, skup opštih ocena $H = \{H_n, n = 1, \dots, N\}$ je definisan: $H = \{\text{veoma loše, loše, osrednje, dobro, odlično}\}$. Na osnovu informacija koje su dobijene prilikom intervjua definisana su pravila ekvivalencije, i za kvantitativne i za kvalitativne kriterijume (Tabela 5.9).

Tabela 5.9. Pravila ekvivalencije za svaki kriterijum (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	Pravila ekvivalencije
Cena usluge (K1)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Dobro, 0.5), (Osrednje, 0.5)} C ↔ {(Loše, 0.7), (Veoma loše, 0.3)}
Vreme realizacije usluge (K2)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Dobro, 0.6), (Osrednje, 0.4)} C ↔ {(Osrednje, 0.2), (Loše, 0.6), (Veoma loše, 0.2)} D ↔ {(Veoma loše, 1)}
Kvalitet usluge (K3)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Odlično, 0.3), Dobro (0.6), (Osrednje, 0.1)} C ↔ {(Dobro, 0.2), (Osrednje, 0.6), (Loše, 0.2)} D ↔ {(Loše, 0.7), (Veoma loše, 0.3)}
IT mogućnosti (K4)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Odlično, 0.6), (Dobro, 0.4)} C ↔ {(Dobro, 0.7), (Osrednje, 0.3)} D ↔ {(Osrednje, 0.6), (Loše, 0.4)} E ↔ {(Loše, 0.8), (Veoma loše, 0.2)}
Izgled lanca snabdevanja (K5)	A ↔ {(Odlično, 0.9), (Dobro, 0.1)} B ↔ {(Dobro, 0.7), (Osrednje, 0.3)} C ↔ {(Loše, 0.6), (Veoma loše, 0.4)}
Bezbednosne zalihe (K6)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Odlično, 0.2), Dobro (0.6), (Osrednje, 0.2)} C ↔ {(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.5), (Loše, 0.2)} D ↔ {(Loše, 0.5), (Veoma loše, 0.5)}
Fleksibilnost (K7)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Odlično, 0.4), Dobro (0.4), (Osrednje, 0.2)} C ↔ {(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.5), (Loše, 0.2)} D ↔ {(Loše, 0.8), (Veoma loše, 0.2)}
Saradnja (K8)	A ↔ {(Odlično, 1)} B ↔ {(Odlično, 0.3), (Dobro, 0.7)} C ↔ {(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.4), (Loše, 0.3)} D ↔ {(Loše, 0.5), (Veoma loše, 0.5)}
Redundantnost (K9)	≥ 9 ↔ Odlično 7 ↔ Dobro 5 ↔ Osrednje 4 ↔ Loše 3 ↔ Veoma loše
Upravljanje rizikom (K10)	≥ 10 ↔ Odlično 8 ↔ Dobro 6 ↔ Osrednje 4 ↔ Loše < 4 ↔ Veoma loše

Rezultati izvorne procene za svaku varijantu (Tabela 5.10) određeni su u skladu sa vrednostima prikazanim u tabeli 5.8.

Tabela 5.10. Rezultati izvorne procene (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3	Varijanta 4	Varijanta 5
K1	{(B, 0.7), (C, 0.3)}	{(B, 0.9), (C, 0.1)}	{(A, 0.8), (B, 0.2)}	{(A, 0.4), (B, 0.6)}	{(A, 0.5), (B, 0.5)}

K2	{(A, 0.3), (B, 0.7)}	{(A, 0.5), (B, 0.5)}	{(A, 0.9), (B, 0.1)}	{(A, 0.7), (B, 0.3)}	{(A, 1)}
K3	{(A, 1)}	{(A, 0.8), (B, 0.2)}	{(A, 1)}	{(A, 0.8), (B, 0.1)}	{(A, 1)}
K4	{(B, 1)}	{(A, 1)}	{(A, 1)}	{(B, 1)}	{(C, 1)}
K5	{(C, 1)}	{(B, 1)}	{(A, 1)}	{(A, 1)}	{(A, 1)}
K6	{(D, 1)}	{(D, 1)}	{(C, 1)}	{(A, 1)}	{(D, 1)}
K7	{(D, 1)}	{(A, 1)}	{(C, 1)}	{(C, 1)}	{(B, 1)}
K8	{(A, 1)}	{(A, 1)}	{(B, 1)}	{(D, 1)}	{(C, 1)}
K9	9	7	4	3	5
K10	10	5	8	4	6

Tabela 5.11 predstavlja transformisane rezultate procene koji su dobijeni na osnovu RBT (vrednosti predstavljene u tabeli 5.10). Na primer, cena usluge (kvalitativni kriterijum) za varijantu 1 je izračunata primenom jednačine (5.20) na sledeći način:

$$\beta_{\text{Odlično},1} = 0$$

$$\beta_{\text{Dobro},1} = 0.7 \times 0.5 = 0.35$$

$$\beta_{\text{Osrednje},1} = 0.7 \times 0.5 = 0.35$$

$$\beta_{\text{Loše},1} = 0.3 \times 0.7 = 0.21$$

$$\beta_{\text{Veoma loše},1} = 0.3 \times 0.3 = 0.09$$

S druge strane, za kvantitativne kriterijume (na primer upravljanje rizikom), vrednost za varijantu 2 je dobijena primenom jednačina (5.23)-(5.26), kao što je prikazano u nastavku:

$$\beta_{\text{Odlično},10} = \beta_{\text{Dobro},10} = \beta_{\text{Veoma loše},10} = 0$$

$$\beta_{\text{Loše},10} = \frac{6 - 5}{6 - 4} = 0.5$$

$$\beta_{\text{Osrednje},10} = 1 - 0.5 = 0.5$$

Tabela 5.11. Transformisani rezultati procene (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3	Varijanta 4	Varijanta 5
K1	{(Dobro, 0.35), (Osrednje, 0.35), (Loše, 0.21), (Veoma loše, 0.09)}	{(Dobro, 0.45), (Osrednje, 0.45), (Loše, 0.07), (Veoma loše, 0.03)}	{(Odlično, 0.8), (Dobro, 0.1), (Osrednje, 0.1)}	{(Odlično, 0.4), (Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.3)}	{(Odlično, 0.5), (Dobro, 0.25), (Osrednje, 0.25)}
K2	{(Odlično, 0.3), (Dobro, 0.42),	{(Odlično, 0.5), (Dobro, 0.3),	{(Odlično, 0.9), (Dobro, 0.06),	{(Odlično, 0.7), (Dobro, 0.18),	{(Odlično, 1)}

	(Osrednje, 0.28)}	(Osrednje, 0.2)}	(Osrednje, 0.04)}	(Osrednje, 0.12)}	
K3	{{(Odlično, 1)}	{{(Odlično, 0.86), (Dobro, 0.12), (Osrednje, 0.02)}	{{(Odlično, 1)}	{{(Odlično, 0.83), (Dobro, 0.06), (Osrednje, 0.01), (H, 0.1)}	{{(Odlično, 1)}
K4	{{(Odlično, 0.6), (Dobro, 0.4)}	{{(Odlično, 1)}	{{(Odlično, 1)}	{{(Odlično, 0.6), (Dobro, 0.4)}	{{(Dobro, 0.7), (Osrednje, 0.3)}
K5	{{(Loše, 0.6), (Veoma loše, 0.4)}	{{(Dobro, 0.7), (Osrednje, 0.3)}	{{(Odlično, 0.9), (Dobro, 0.1)}	{{(Odlično, 0.9), (Dobro, 0.1)}	{{(Odlično, 0.9), (Dobro, 0.1)}
K6	{{(Loše, 0.5), (Veoma loše, 0.5)}	{{(Loše, 0.5), (Veoma loše, 0.5)}	{{(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.5), (Loše, 0.2)}	{{(Odlično, 1)}	{{(Loše, 0.5), (Veoma loše, 0.5)}
K7	{{(Loše, 0.8), (Veoma loše, 0.2)}	{{(Odlično, 1)}	{{(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.5), (Loše, 0.2)}	{{(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.5), (Loše, 0.2)}	{{(Odlično, 0.4), (Dobro, 0.4), (Osrednje, 0.2)}
K8	{{(Odlično, 1)}	{{(Odlično, 1)}	{{(Odlično, 0.3), (Dobro, 0.7)}	{{(Loše, 0.5), (Veoma loše, 0.5)}	{{(Dobro, 0.3), (Osrednje, 0.4), (Loše, 0.3)}
K9	{{(Odlično, 1)}	{{(Dobro, 1)}	{{(Loše, 1)}	{{(Veoma loše, 1)}	{{(Osrednje, 1)}
K10	{{(Odlično, 1)}	{{(Osrednje, 0.5), (Loše, 0.5)}	{{(Dobro, 1)}	{{(Loše, 1)}	{{(Osrednje, 1)}

Poslednji korak, kako bi se dobila početna matrica odlučivanja koja se koristi u WASPAS metodi, podrazumeva pretvaranje generalizovanih struktura verovanja u intervale korisnosti primenom jednačina (5.29) i (5.30). Da bi se konvertovale vrednosti, korisnost svake od opštih ocena je procenjena kao linearna funkcija na sledeći način (Sureeyatanapas et al., 2020; Pajić et al., 2023): $u(\text{Veoma loše}) = 0$; $u(\text{Loše}) = 0,25$; $u(\text{Osrednje}) = 0,5$; $u(\text{Dobro}) = 0,75$ i $u(\text{Odlično}) = 1$. Primeri obračuna su prikazani u nastavku za cenu usluge za varijantu 1 (V1) (Tabela 5.12). Procedura je ista za sve druge varijante i kriterijume osim za kvalitet usluge za varijantu 4 (V4) (na osnovu vrednosti prikazanih u tabeli 5.10 može se videti da zbir nije jednak 1 kao kod ostalih vrednosti, već je jednak 0,9). Ovo je takozvana nepotpuna procena, a razlog za to se ogleda u činjenici da je ovaj 4PL provajder imao jednu isporuku manje od ostalih. Iz tog razloga nije bilo moguće dati potpunu procenu.

$$u_{max,c1} = u_{min,c1} = (0.75 \times 0.35) + (0.5 \times 0.35) + (0.25 \times 0.21) + (0 \times 0.09) = 0.49$$

$$u_{max,C3} = (1 \times 0.83) + (0.75 \times 0.06) + (0.5 \times 0.01) + (1 \times 0.1) = 0.98$$

$$u_{min,C1} = (1 \times 0.83) + (0.75 \times 0.06) + (0.5 \times 0.01) + (0 \times 0.1) = 0.88$$

Tabela 5.12. Intervali korisnosti (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Kriterijum	V1		V2		V3		V4		V5	
	u _{max}	u _{min}	u _{max}	u _{min}	u _{max}	u _{min}	u _{max}	u _{min}	u _{max}	u _{min}
K1	0.49	0.49	0.83	0.83	0.925	0.925	0.775	0.775	0.8125	0.8125
K2	0.755	0.755	0.825	0.825	0.965	0.965	0.895	0.895	1	1
K3	1	1	0.96	0.96	1	1	0.98	0.88	1	1
K4	0.9	0.9	1	1	1	1	0.9	0.9	0.675	0.675
K5	0.15	0.15	0.675	0.675	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975
K6	0.125	0.125	0.125	0.125	0.525	0.525	1	1	0.125	0.125
K7	0.2	0.2	1	1	0.525	0.525	0.525	0.525	0.8	0.8
K8	1	1	1	1	0.825	0.825	0.125	0.125	0.5	0.5
K9	1	1	0.75	0.75	0.25	0.25	0	0	0.5	0.5
K10	1	1	0.375	0.375	0.75	0.75	0.25	0.25	0.5	0.5

5.2.3 Rangiranje varijanti primenom WASPAS metode

Rangiranje varijantnih rešenja realizovano je pomoću WASPAS metode, koju odlikuje visoka pouzdanost, bez potrebe za dodatnim procenama donosilaca odluka. Da bi se dobila početna matrica odlučivanja, na vrednosti prikazane u tabeli 5.12 primenjena je jednačina (5.31). Na taj način je uzeta u obzir prosečna vrednost korisnosti svake varijante (Tabela 5.13). S obzirom da sledeći korak primene ove metode podrazumeva normalizaciju, određen je tip svakog kriterijuma (da li se radi o minimizacionom ili maksimizacionom kriterijumu). Nakon toga, svakom kriterijumu su dodeljene težine koje su dobijene primenom fuzzy FUCOM metode.

Tabela 5.13. Početna matrica odlučivanja WASPAS metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
tip	min	min	max	max	max	max	max	max	max	max
težina	0.124	0.124	0.131	0.147	0.121	0.107	0.072	0.050	0.056	0.069
V1	0.49	0.755	1	0.9	0.15	0.125	0.2	1	1	1
V2	0.83	0.825	0.96	1	0.675	0.125	1	1	0.75	0.375
V3	0.925	0.965	1	1	0.975	0.525	0.525	0.825	0.25	0.75
V4	0.775	0.895	0.93	0.9	0.975	1	0.525	0.125	0	0.25
V5	0.8125	1	1	0.675	0.975	0.125	0.8	0.5	0.5	0.5

Nakon primene jednačina (5.32) i (5.33), dobijena je normalizovana matrica odlučivanja (Tabela 5.14).

Tabela 5.14. Normalizovana matrica odlučivanja WASPAS metode (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Težina	0.124	0.124	0.131	0.147	0.121	0.107	0.072	0.050	0.056	0.069
V1	1	1	1	0.9	0.15	0.13	0.2	1	1	1
V2	0.59	0.92	0.96	1	0.69	0.13	1	1	0.75	0.38
V3	0.53	0.78	1	1	1	0.53	0.53	0.83	0.25	0.75

V4	0.63	0.84	0.93	0.9	1	1	0.53	0.13	0	0.25
V5	0.60	0.76	1	0.68	1	0.13	0.8	0.5	0.5	0.5

Jednačine (5.34) i (5.35) su potom primenjene kako bi se izračunale vrednosti WSM i WPM (Tabela 5.15). Ove vrednosti su zatim upotrebljene u jednačini (5.36) za rangiranje varijanti (Tabela 5.16). Vrednost koeficijenta λ koji se koristi u WASPAS metodi za rangiranje varijanti utvrđuje donosilac odluke i u ovom modelu je uzeta kao $\lambda = 0,5$. Pošto ovaj koeficijent može imati vrednost između 0 i 1, u nastavku je izvršena analiza osetljivosti kako bi se videlo da li će se promeniti rang varijantnih rešenja.

Tabela 5.15. Vrednosti WSM i WPM (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Vrednosti WSM											
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	Q ⁽¹⁾
V1	0.12	0.12	0.13	0.13	0.02	0.01	0.01	0.05	0.06	0.07	0.73
V2	0.07	0.11	0.13	0.15	0.08	0.01	0.07	0.05	0.04	0.03	0.75
V3	0.07	0.10	0.13	0.15	0.12	0.06	0.04	0.04	0.01	0.05	0.76
V4	0.08	0.10	0.12	0.13	0.12	0.11	0.04	0.01	0.00	0.02	0.73
V5	0.07	0.09	0.13	0.10	0.12	0.01	0.06	0.02	0.03	0.03	0.68
Vrednosti WPM											
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	Q ⁽²⁾
V1	1.00	1.00	1.00	0.98	0.80	0.80	0.89	1.00	1.00	1.00	0.56
V2	0.94	0.99	0.99	1.00	0.96	0.80	1.00	1.00	0.98	0.93	0.65
V3	0.92	0.97	1.00	1.00	1.00	0.93	0.95	0.99	0.93	0.98	0.72
V4	0.94	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.95	0.90	0.00	0.91	0.00
V5	0.94	0.97	1.00	0.94	1.00	0.80	0.98	0.97	0.96	0.95	0.60

Tabela 5.16. Rangiranje varijantnih rešenja za $\lambda = 0,5$ (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

Varijanta	Q ⁽¹⁾	Q ⁽²⁾	Q	Rang
V1	0.73	0.56	0.646	3
V2	0.75	0.65	0.697	2
V3	0.76	0.72	0.740	1
V4	0.73	0.00	0.363	5
V5	0.68	0.60	0.637	4

Na osnovu primene predložene metodologije u ovoj disertaciji, može se zaključiti, na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.16 da varijanta (4PL) 3 ima najveću vrednost, a slede varijante 2 i 1, dok varijante 5 i 4 imaju najnižu vrednost. Rangiranje varijantnih rešenja se može predstaviti i na sledeći način: $A_3 > A_2 > A_1 > A_5 > A_4$.

Dobijeni rezultati su pokazali da predloženi postupak predstavlja dragocen alat za podršku odlučivanju prilikom izbora rezilijentnih 4PL provajdera, koji se pored posmatranog problema, može koristiti za rešavanje niza sličnih logističkih zadataka. Predloženi model i postupak smanjuju *gap* ustanovljen prilikom pregleda literature. Takođe, rezultati primene razvijenog modela potvrdili su da je model primenljiv u realnim sistemima, čime je hipoteza H3, koja glasi: novi pristupi i modeli za evaluaciju rezilijentnih logističkih provajdera, mogu unaprediti

proces odlučivanja u uslovima izraženih izazova i poremećaja pri isporuci proizvoda u e-trgovini, potvrđena.

5.3 ANALIZA OSETLJIVOSTI MODELA

Da bi se videlo da li će promena vrednosti λ uticati na konačno rangiranje 4PL provajdera, urađena je analiza osetljivosti. Tom prilikom su uzete u obzir sve moguće vrednosti ovog koeficijenta, odnosno od 0 do 1. Rezultati analize osetljivosti prikazani su u tabeli 5.17. Kao što se može videti, rang varijanti je sledeći za sve vrednosti λ do 0,3: $V3 > V2 > V5 > V1 > V4$. Jedan specifičan slučaj se javlja kada je vrednost $\lambda = 0,4$, s obzirom da u tom slučaju dve varijante (V1 i V5) imaju iste vrednosti i stoga dele isto mesto. Za λ vrednosti od 0,5 do 0,9, rangiranje se ne menja, a varijante imaju sledeći poredak $V3 > V2 > V1 > V5 > V4$. U poslednjem slučaju, odnosno kada λ ima vrednost 1, redosled je skoro isti kao u prethodnom slučaju, sa jedinom razlikom što su varijante 4 i 5 zamenile mesta. Na osnovu dobijenih rezultata može se reći da je dobijeno rešenje prilično stabilno, posebno ako se razmatraju varijante V2, V3 i V4. Promena vrednosti koeficijenta utiče samo na varijante V1 i V5, gde postoje razlike u rangiranju u zavisnosti od vrednosti λ .

Tabela 5.17. Rezultati analize osetljivosti za sve vrednosti λ (Prilagođeno prema Pajić et al., 2023)

	$\lambda=0$	$\lambda=0.1$	$\lambda=0.2$	$\lambda=0.3$	$\lambda=0.4$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.6$	$\lambda=0.7$	$\lambda=0.8$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1$
V1	0.560	0.577	0.594	0.612	0.629	0.646	0.663	0.680	0.698	0.715	0.732
V2	0.649	0.658	0.668	0.678	0.687	0.697	0.707	0.716	0.726	0.736	0.745
V3	0.718	0.723	0.727	0.731	0.736	0.740	0.745	0.749	0.753	0.758	0.762
V4	0.000	0.073	0.145	0.218	0.291	0.363	0.436	0.509	0.581	0.654	0.726
V5	0.597	0.605	0.613	0.621	0.629	0.637	0.645	0.653	0.661	0.669	0.677
Rangiranje varijantnih rešenja											
	$\lambda=0$	$\lambda=0.1$	$\lambda=0.2$	$\lambda=0.3$	$\lambda=0.4$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.6$	$\lambda=0.7$	$\lambda=0.8$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1$
V1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
V2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
V3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
V5	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5

Prethodno prikazani rezultati pokazuju veliku mogućnost primene predložene metodologije na različite probleme. U ovoj disertaciji primenjen je hibridni pristup za evaluaciju 4PL provajdera za kompaniju koja se bavi e-trgovinom. Primenjeni model može pomoći donosiocu odluka (menadžerima) kao alat za podršku odlučivanju pri angažovanju odgovarajućeg 4PL provajdera. Pored toga, može pomoći menadžerima da bolje razumeju mogućnosti poboljšanja isporuke proizvoda naručenih *online* kroz angažovanje rezilijentnih 4PL provajdera. Na ovaj način, moguće je povećati pouzdanost i kvalitet isporuke, što će rezultirati većim stepenom zadovoljstva kupaca, imajući u vidu da je blagovremena i kvalitetna isporuka jedan od najvažnijih faktora konkurentnosti u e-trgovini. Pored poboljšanja isporuke, predložena metodologija se može koristiti za razumevanje veza između e-trgovine, rezilijentnosti i logističkih provajdera. Na osnovu ovoga, kompanije mogu lakše da prevaziđu probleme neizvesnosti tokom isporuke angažovanjem rezilijentnih 4PL provajdera. Takođe, predložena metodologija može pomoći da se bolje razumeju međusobni odnosi između kriterijuma, kao i važnost određenih kriterijuma koji utiču na proces evaluacije i selekcije.

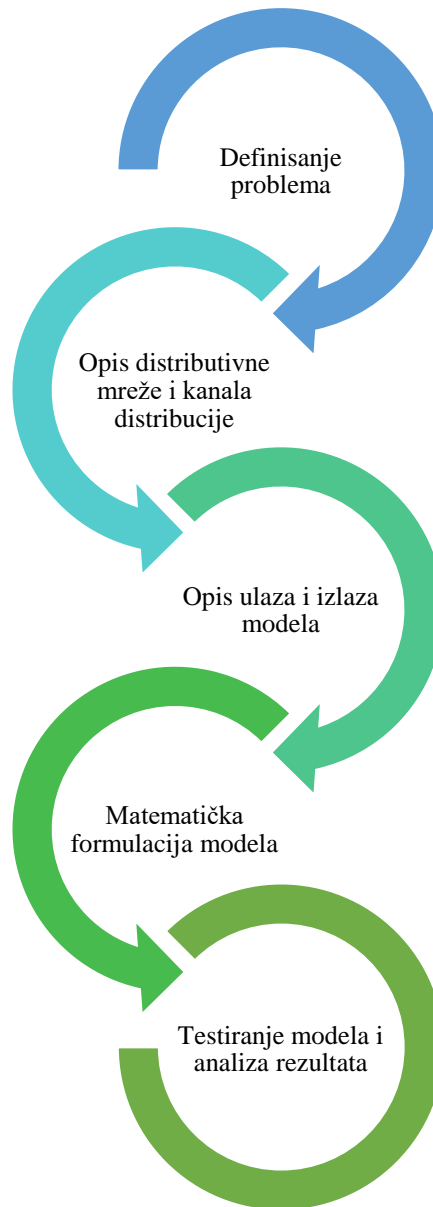
Kako je predložena metodologija nova i u hibridnoj formi, bilo je teško uporediti rezultate sa drugim istraživanjima. Zbog činjenice da ne postoje radovi koji se bave evaluacijom rezilijentnih 4PL provajdera za potrebe e-trgovine, rezultati su upoređeni sa radovima koji se bave sličnim problemima. Dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim od strane Buyukozkan et al. (2009) i utvrđeno je da su u oba rada IT kriterijumi određeni kao najvažniji. Slična situacija je utvrđena upoređivanjem dobijenih rezultata sa Aydin et al. (2022). Za razliku od Yazdi et al. (2022), u ovom modelu je redundantnost uzeta u obzir kao kriterijum s obzirom da je procenjeno da je ona važna pri proceni rezilijentnosti.

S obzirom na to da postoji velika neizvesnost u logistici i u različitim procesima i aktivnostima, prednost opisane metodologije ogleda se u mogućnosti njene primene upravo u ovim situacijama. Naime, ET omogućava procenu čak i kada nisu poznate sve informacije. Tom prilikom se pojavljuje nepotpuna ocena. Druge, tradicionalne MCDM metode, ne podržavaju ovakav način evaluacije, pa se iz tog razloga primena ET ističe kao prednost. Pored toga, donosilac odluke može detaljnije da pogleda svaki kriterijum i odredi kako će se evaluacija sprovesti postavljanjem pravila kako bi se izvršila transformacija zasnovana na pravilima. Cilj primene metodologije u ovom modelu bio je procena 4PL provajdera, međutim, opisana metodologija se može primeniti na različite logističke probleme i u različitim podsistemima, kao na primer pri izboru 4PL provajdera, 3PL provajdera, dobavljača, kanala distribucije, itd. U tim situacijama potrebno je samo prilagoditi kriterijume kao i pravila.

6. MODEL MERENJA OTIF-A I EFIKASNOSTI DISTRIBUCIJE PROIZVODA

Strogi zahtevi tržišta i sve jača konkurencija postavljaju stalno nove izazove pred logističke i distributivne sisteme. Očekuje se isporuka robe na vreme i visok nivo ispunjenosti porudžbina. Standardna mera uspešne isporuke i ključni indikator, preko koga se prati proces distribucije robe jeste kompletnost isporuke koja je realizovana na vreme (engl. *On-Time In-Full - OTIF*). Ispunjenje OTIF-a se sve češće traži kao osnovni zahtev u distribuciji, ali i u kompletnom lancu snabdevanja. Visok stepen ispunjenosti OTIF-a uglavnom zahteva angažovanje većih logističkih resursa. Međutim, logistički i distributivni sistemi često imaju ograničene resurse ili teže da sa što manje angažovanih resursa postignu što bolji rezultat. Ključ je u efikasnom korišćenju raspoloživih resursa prilikom realizacije očekivanog OTIF-a. Međutim, pregledom raspoložive literature primećeno je da ne postoje radovi koji ovu složenu problematiku obrađuju istovremeno. Uočeni *gap* je bio osnovni motiv za razvoj ovog modela, sa ciljem da se uspostavi funkcionalna zavisnost između efikasnog korišćenja ključnih logističkih resursa i nivoa ispunjenja OTIF-a pri distribuciji i isporuci robe.

Konceptualni model obuhvata više koraka koji se realizuju sinhronizovano. Prvo je ukratko opisan problem i suprotstavljeni ciljevi u lancu isporuke, kada je u pitanju stepen ispunjenosti OTIF-a, s jedne, i efikasnog korišćenja resursa, s druge strane. Nakon sagledavanja problema u nastavku je opisana distributivna mreža kroz koju se realizuje isporuka proizvoda. Nakon toga, opisani su svi ulazni i izlazni parametri koji su posmatrani u modelu. Sledeći korak podrazumeva opis matematičke formulacije modela (DEA modela koji je korišćen). Na samom kraju, izvršeno je testiranje i primena modela na primeru, kao i analiza dobijenih rezultata (Slika 6.1).



Slika 6.1. Konceptualni model

6.1 OPIS PROBLEMA

Usled sve strožijih zahteva tržišta i korisnika, sa jedne strane, teži se što većem stepenu ispunjenja OTIF-a, dok sa druge strane kompanije teže da što efikasnije koriste resurse. Na prvi pogled radi se o dva konflikta cilja, jer visok stepen ispunjenja OTIF-a može se postići ako se angažuju značajni resursi u procesu distribucije. Međutim, logistički i distributivni sistemi često imaju ograničene resurse ili teže da sa što manje angažovanih resursa postignu što bolji rezultat. Ključ je u efikasnom korišćenju raspoloživih resursa prilikom realizacije očekivanog OTIF-a. Radi se o klasičnoj optimizaciji, gde je potrebno pronaći rešenja koja dovode u optimalan odnos ove dve veličine. Drugim rečima, potrebno je definisati model koji će meriti kako efikasnost korišćenja resursa utiče na ispunjenost OTIF-a. U narednim izlaganjima dat je kraći osvrt na ključne aspekte OTIF-a i efikasnosti korišćenja logističkih resursa.

OTIF se najčešće izražava u procentima i podrazumeva procenat isporuke koja je kompletna i realizovana na vreme. Kako bi dobili vrednost ovog indikatora, neophodno je podeliti broj kompletnih isporuka koje su realizovane na vreme sa ukupnim brojem isporuka, jednačina (6.1).

$$OTIF = \frac{\text{Broj kompletnih isporuka realizovanih na vreme}}{\text{Broj ukupno realizovanih isporuka}} \times 100\% \quad (6.1)$$

Međutim, pored ovog KPI-a moguće je pratiti i niz drugih koji su povezani sa procesom distribucije ali i one koji utiču na sam proces distribucije. Tako se u praksi često prate: nivo usluge (engl. *service level*), kompletnost isporuke (engl. *Delivery in Full – DIF*), kvalitet isporuke (engl. *Delivery on Quality – DOQ*), tačnost isporuke (engl. *Delivery on Time – DOT*), kompletnost isporuke na vreme (engl. *Delivery In Full, On Time – DIFOT*), dostupnost proizvoda (engl. *Availability*, poznatija i kao *On-shelf Availability – OSA*), i dr. (ABC Supply Chain, 2023; Grubor i Milićević, 2015). DIF predstavlja meru kompletnosti (ispunjenosti) porudžbine i može se izračunati primenom jednačine (6.2).

$$DIF = \frac{\text{isporučena količina}}{\text{poručena količina}} \quad (6.2)$$

DOQ pokazatelj je povezan sa kvalitetom isporuke, koja je jako bitna kada se govori o distribuciji proizvoda. Kako bi se ovaj pokazatelj izračunao neophodno je utvrditi sve neusaglašenosti prilikom prijema robe, jednačina (6.3).

$$DOQ = 1 - \frac{\text{isporučena količina sa neusaglašenostima}}{\text{poručena količina}} \quad (6.3)$$

Sa druge strane, DOT se odnosi na vremensku tačnost isporuke (da li je ispoštovano dogovoreno vreme isporuke), i može se izračunati primenom jednačine (6.4).

$$DOT = \frac{\text{količina isporučena na vreme}}{\text{isporučena količina}} \quad (6.4)$$

Na kraju, kako bi se dobila vrednost pokazatelja DIFOT neophodno je pomnožiti prethodno dobijene pokazatelje, jednačina (6.5).

$$DIFOT = DIF \times DOQ \times DOT \quad (6.5)$$

Jedan od pokazatelja koji nije direktno povezan sa procesom distribucije ali zavisi od ovog procesa i može imati veliki uticaj na krajnje potrošače (naročito u *retail* sektoru) jeste dostupnost proizvoda tj. OSA. OSA predstavlja broj proizvoda koji se mogu kupiti u

određenom vremenskom trenutku. Prema istraživanju Grubor et al. (2017) nemogućnost kupovine (usled nedostupnosti proizvoda) utiče na kupovinu proizvoda drugog brenda (u 47% slučajeva), kupovinu drugog artikla (u 23% slučajeva), ili kupovinu u drugoj prodavnici (u 21% slučajeva). Pored toga, OSA utiče i na stepen zadovoljstva krajnjih potrošača. Dostupnost proizvoda se može izračunati primenom jednačine (6.6).

$$\text{Dostupnost proizvoda} = \frac{\text{zadovoljena potražnja}}{\text{ukupna potražnja}} \quad (6.6)$$

Porast e-trgovine i mogućnost da krajnji korisnici poručuju proizvode preko interneta, dovela je do toga da se vreme isporuke proizvoda značajno skрати, s obzirom da korisnici očekuju da dobiju svoje proizvode što je pre moguće. Isporučka na vreme i u potpunosti postaju ključni faktor zadovoljstva korisnika. Pored toga, primena OTIF-a se može iskoristiti i za procenu i evaluaciju dobavljača, merenje efikasnosti proizvodnje i logističkih procesa, kao i utvrđivanje potencijalnih uskih grla u lancima snabdevanja (Adapt ideations, 2022). Prednosti primene OTIF-a, se takođe ogledaju i kroz smanjenje troškova distribucije, povećanje profita, i dr. Koliki je značaj praćenje OTIF-a u praksi, govori podatak sa sajta Statista, gde je prosečno vreme isporuke Amazona krajem 2015. godine iznosilo nešto manje od šest dana, dok je u martu 2018. godine ono iznosilo 3,07 dana. Na osnovu ovog podatka može se zaključiti da je došlo do velike promene u zahtevima korisnika u pogledu brzine isporuke (Statista, 2022a). Takođe, Amazon zahteva od svojih dobavljača da ostvare najmanje 90% OTIF-a, a ukoliko pošiljka ne stigne na vreme ili nije kompletna onda naplaćuje penale svojim dobavljačima (Zipline logistics, 2022). Sa druge strane, Walmart je poslednjih godina značajno povećao prag OTIF-a za svoje dobavljače sa 70% (koliko je iznosio prag 2017. godine) preko 85% (u januaru 2018. godine) i 87% (u martu 2019. godine) na čak 98% (u 2020. godini) i kažnjava svoje dobavljače ukoliko ne isporuče robu u skladu sa postavljenim OTIF-om sa 3% prodajne cene robe koja nedostaje, a ukoliko pošiljka ne stigne na vreme, onda penali iznose 3% prodajne cene ukupne pošiljke (Closser, 2020, Honaman, 2021). Na osnovu svega prethodno navedenog može se zaključiti koliki je značaj kao i upotreba OTIF-a u praksi. Dodatna potvrda toga ogleda se i u rezultatima istraživanja koje je sprovedeno od strane Statiste i koje je uključivalo profesionalce u lancima snabdevanja o indikatorima koje koriste i prate, koje je sprovedeno 2017. godine. KPI koji se najviše pratio i to u 40% slučajeva je upravo OTIF, dok je na drugom mestu bio KPI koji se odnosi na smanjenje troškova, u 35% slučajeva (Statista, 2022b).

U istraživanju sprovedenom od strane Davies et al. (2019) došlo se do zaključka da čak 79% kompanija prilikom procene OTIF-a istovremeno posmatra i meri obe komponente, i tačnost isporuke (OT) i kompletnost isporuke (IF). Sa druge strane, 17% kompanija OTIF deli upravo na ove dve komponente (OT i IF) i na taj način vrši merenje ispunjenosti. Samo 4% kompanija koje su učestvovala u istraživanju ne prati OTIF kao jedan od KPI-a. Pored primene OTIF-a, autori su želeli i da ispituju na kom nivou se najčešće meri OTIF (kada se govori o kompletnosti isporuke). Najveći broj kompanija (79%) posmatra to kroz kompletnost pakovanja (koliko pakovanja je dostavljeno u odnosu na broj poručenih), zatim sledi kompletnost porudžbine (13%) i na kraju kompletnost stavki iz porudžbine (8%). OTIF, kao parametar, je naročito značajan za trgovinske lance, s obzirom da se on direktno može odraziti na dostupnost proizvoda na policama (OSA). Iz tog razloga, a kako ne bi propustili prodaju, trgovci sve češće prate ove parametre kako bi dostigli optimalan nivo u njihovom ispunjenju.

Efikasnost se prema Beamon (1999) može definisati kao mera koja pokazuje koliko su dobro iskorišćeni resursi. Kada se govori o efikasnosti, ona se u literaturi uglavnom procenjuje primenom DEA metode. Međutim, efikasnost se generalno može odrediti kao odnos izlaza i ulaza, jednačina (6.7). Dakle, kada se ova formula uzme u obzir, može se zaključiti da

efikasnost zapravo podrazumeva količinu generisanog izlaza u odnosu na upotrebljenu količinu ulaza. Cilj je da se generiše što više izlaza sa što je moguće manje angažovanih ulaza.

$$Efikasnost = \frac{izlaz}{ulaz} \quad (6.7)$$

Sa druge strane, može se govoriti i o operativnoj efikasnosti, jednačina (6.8). Operativna efikasnost se može definisati kao odnos ulaza koji su neophodni za rad kompanije i izlaza koji se generišu (Malsam, 2022). Ulazne veličine mogu biti: operativne strategije, operativni troškovi, radna snaga, vreme, i dr. Dok izlazne veličine predstavljaju ono što je generisano i mogu biti: kvalitet, prihod, privlačenje i zadržavanje korisnika.

$$Operativna\ efikasnost = \frac{operativni\ troškovi}{ukupni\ prihodi} \quad (6.8)$$

Kada se posmatra efikasnost, onda se može govoriti o efikasnosti pojedinačnih entiteta (DMU) i efikasnosti više entiteta. Naime, u literaturi je prepoznat problem merenja efikasnosti u distributivnim kanalima i lancima snabdevanja gde postoji veliki broj entiteta i gde je neophodno da se izračuna efikasnost čitavog lanca. Kako bi se rešio ovaj problem osmišljeni su razni pristupi za dekompoziciju efikasnosti, kao što su: pristup „prosečne“ efikasnosti, pristup „proizvoda“ efikasnosti, mrežni model merenja efikasnosti, kao i modeli bazirani na teoriji igara (Andrejić i Kilibarda, 2017; Andrejić, 2023). Kod pristupa „prosečnih“ efikasnosti, za razliku od standardnog pristupa procene efikasnosti, prvo se vrši procena efikasnosti svake komponente (entiteta), nakon čega se ukupna efikasnost dobija kao aritmetička sredina pojedinačnih komponenti. Kod „proizvoda“ efikasnosti, razmatraju se sistemi čije se aktivnosti odvijaju u dve faze, i efikasnost celog sistema se određuje kao proizvod redno povezanih aktivnosti. Mrežni model merenja efikasnosti uključuje međuproizvode i ne zahteva raspoređivanje resursa unutar podsistema. S obzirom da u lancu postoji veliki broj učesnika, koji obično imaju različite ciljeve i strategije, a kako bi se rešio ovaj problem, uvedeni su modeli bazirani na teoriji igara, gde postoje dva osnovna pristupa: kooperativni i nekooperativni (Andrejić, 2015; Andrejić i Kilibarda, 2017).

6.2 OPIS DISTRIBUTIVNE MREŽE

Distributivna mreža se može posmatrati kao mreža kroz koju se vrši protok proizvoda (robe) od proizvođača do krajnjih korisnika. Takva mreža se uglavnom sastoji od proizvođača, skladišta, distributivnog centra, maloprodaja i krajnjih korisnika. Na izgled same mreže utiču brojni faktori kao što su: lokacija korisnika, količine i frekventnost prilikom poručivanja, transportni troškovi, lokacija skladišta, i dr. (CFI, 2023). Sa druge strane, prilikom organizacije i planiranja procesa distribucije, izgled distributivne mreže ima veliki uticaj na brojne druge faktore kao što su troškovi, efikasnost, tačnost, pouzdanost, i dr. Distributivnu mrežu čini skup n čvorova i m veza preko kojih se odvija isporuka proizvoda. S obzirom da se distributivna mreža sastoji od većeg broja entiteta (učesnika), jako je važno pratiti i meriti efikasnost u svakoj tački mreže, s obzirom da će samo tako efikasnost celokupne mreže biti veća. Na osnovu ovoga može se zaključiti da je efikasnost mreže rezultanta različitih procesa, entiteta i aktivnosti u distributivnoj mreži koji učestvuju u realizaciji procesa distribucije i isporuke robe. Od

efikasnosti pojedinačnih entiteta, koji su različito raspoređeni u mreži i učestvuju u distribuciji, zavisi efikasnost ispunjenja OTIF-a.

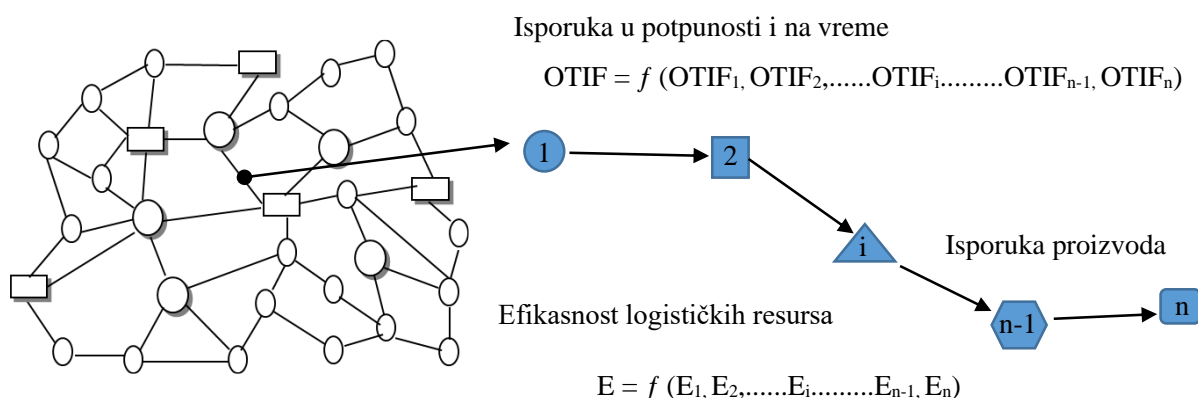
Distribucija i isporuka proizvoda odvijaju se kroz distributivnu mrežu (DM), koju čine čvorovi kao što su: proizvođač (PR), fabričko skladište (FS), centralni logistički centar (CLS), regionalni logistički centri (RLC) *cross docking* terminali (CDT), skladišta za isporuku (SI), prodajni objekti (PO) i krajnji potrošači (KP). Čvorovi su povezani različitim transportnim, komunikacionim i poslovnim vezama. Svakako, sastavni deo mreže je transport (TR) i transportna sredstva koja realizuju proces prevoza robe između čvorova u mreži. U skladu sa navedenim, distributivna mreža se može predstaviti na sledeći način:

$$DM = \{PR, FS, CLC, RLC, CDT, SI, PO, KP, TR, \dots\}$$

U samoj isporuci proizvoda realizuju se različiti logistički procesi i aktivnosti (LPA), kao što su: poručivanje i obrada porudžbine (POP), skladištenje (SK), upravljanje zalihama (UZ), komisioniranje (KO), pakovanje (PA), utovar (UT), transport (TR), istovar (IS), i sl. Svi ovi procesi odvijaju se uzastopno i paralelno, te predstavljaju uređen niz u lancu distribucije proizvoda, što se može predstaviti na sledeći način:

$$LPA = \{POP, SK, UZ, KO, PA, UT, TR, IS, \dots\}$$

Navedeni učesnici u distributivnoj mreži i logistički procesi koje oni realizuju direktno utiču na ispunjenje OTIF-a, s jedne, i efikasnost logističkih resursa, s druge strane (Slika 6.2).



Slika 6.2. Izgled distributivne mreže

6.3 POSTUPAK MERENJA EFIKASNOSTI ISPUNJENJA OTIF-A

6.3.1 Definisane ulaznih i izlaznih parametara

Prvi korak u postupku merenja efikasnosti ispunjenja OTIF-a je definisanje i opis relevantnih ulaznih i izlaznih parametara, što je detaljnije predstavljeno u Tabeli 6.1 i narednim izlaganjima.

Tabela 6.1. Ulazni i izlazni parametri modela

Parametar	Ulaz (U)/Izlaz (I)	Oznaka
Angažovana radna snaga	U	U1
Površina prostora	U	U2
Angažovana transportna sredstva	U	U3
Zalihe	U	U4
Broj isporučnih mesta	U	U5

Potrošnja energije	U	U6
Isporuka na vreme (<i>On-time</i>)	I	I1
Kompletnost isporuke (<i>In-full</i>)	I	I2
Troškovi distribucije	I	I3
Broj isporučenih stavki	I	I4
Isporučena količina robe	I	I5

Pod **angažovanom radnom snagom** (ARS) podrazumevano je ukupno vreme angažovanja zaposlenih u procesu distribucije, tj.: zaposlenih u administraciji (koji se bave obradom i realizacijom porudžbine), angažovanih radnika u skladištu (komisioneri, viljuškaristi), angažovanih radnika prilikom pakovanja, utovara, i transporta (vozači), što se može predstaviti kroz sledeći izraz:

$$ARS = \sum_{i=1}^n br_i \times tr_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (6.9)$$

gde je $i = 1, \dots, n$ – broj procesa koji se realizuju prilikom distribucije proizvoda, br_i – broj radnika u i -tom procesu, tr_i – vreme angažovanja radnika u i -tom procesu. Ovaj ulazni parametar direktno utiče na brojne izlazne parametre modela (kao npr. isporuka na vreme, kompletnost isporuke, trošak distribucije).

Drugi ulazni parametar odnosi se direktno na prostor koji se angažuje od strane logističkih sistema, prvenstveno distributivnih centara i izražen je preko **površine prostora** (PP), a koja se može iskazati na sledeći način:

$$PP = \sum_{i=1}^n p_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (6.10)$$

gde je $i = 1, \dots, n$ – broj procesa koji se realizuju prilikom distribucije proizvoda, p_i – površina upotrebljena za realizaciju i -tog procesa. Ovaj parametar direktno utiče na kapacitet distributivnog sistema, tehnologiju koja se može primeniti, strukturu i obim usluga koje može pružiti, propusnu sposobnost distributivnog sistema i veličinu zaliha.

Angažovana transportna sredstva (ATS) kao parametar direktno utiče na OTIF, ali i na troškove distribucije i isporučenu količinu robe. Tom prilikom, kompanija može ili sama realizovati distribuciju sopstvenim vozilima ili angažovati podizvođače. Prilikom distribucije moguće je angažovati različite tipove transportnih sredstava (solo kamion, kombi, *pick-up*), različit broj transportnih sredstava gde za svaki tip svako transportno sredstvo ima određeno vreme angažovanja. Angažovanje transportnih sredstava može se predstaviti sledećim izrazom.

$$ATS = \sum_{j=1}^m bts_j \times tts_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (6.11)$$

gde je $j = 1, \dots, m$ – broj transportnih sredstava, bts_j – broj angažovanih vozila u isporuci robe, tts_j – vreme angažovanja vozila.

Sledeći parametar koji ima veliki uticaj na nivo ispunjenosti OTIF-a jesu **zalihe**. Naime, ukoliko su traženi proizvodi već na zalihama onda će to direktno uticati na ispunjenost porudžbina i kompletnost isporuke. Zalihe je moguće izraziti ili kroz količinu robe koja je na zalihama, ili kroz vrednost zaliha (angažovani kapital):

$$\text{Zalihe (količiniski)} = \sum_{k=1}^K Q_k \times t_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (6.12)$$

$$\text{Zalihe (vrednosno)} = \sum_{k=1}^K Q_k \times c_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (6.13)$$

gde je $k = 1, \dots, K$ – artikli na zalihama, Q_k – prosečna količina k -tog artikla na zalihama, t_k – vreme držanja k -tog artikla na zalihama, c_k – jedinična cena k -tog artikla.

Broj isporučnih mesta (BIM) zapravo opisuje tržište i broj kupaca u gravitacionoj zoni koji se opslužuju kroz određenu distributivnu mrežu, odnosno iz odgovarajućeg distributivnog centra (skladišta). Uglavnom je heterogena struktura kupaca po karakteru, veličini i formatu. U distribuciji mogu biti sopstveni ili eksterni maloprodajni objekti različitih formata (hipermarketi, marketi, manje prodavnice), i finalni potrošači. Svaki kupac može imati jedno ili više isporučnih mesta pa se ukupan broj isporučnih mesta može predstaviti sledećim izrazom:

$$BIM = \sum_{r=1}^R bim_r, \quad r = 1, \dots, R \quad (6.14)$$

gde je $r = 1, \dots, R$ – broj različitih tipova kupaca, bim_r – broj isporučnih mesta r -tog kupca.

Svako isporučno mesto ima određene zahteve u pogledu strukture, količine, i dinamike isporuke robe. Broj isporučnih mesta, odnosno njihovi zahtevi i potrebe direktno utiču na ispunjenje OTIF-a i troškove distribucije. Isto tako, svako isporučno mesto može imati posebne zahteve u pogledu tipa i karakteristika transportnog sredstva kao i broja radnika angažovanih u procesu isporuke robe.

Jedan od značajnijih parametara, kada se govori o distribuciji robe jeste **potrošnja energije** (PE), koja je u ovom modelu izražena kao trošak u n.j. Svaki logistički proces zahteva, odnosno prouzrokuje potrošnju određene energije. Međutim, svi procesi se mogu grupisati u dve velike grupe sa aspekta potrošnje energije. Prvu grupu predstavljaju procesi koji se odvijaju u određenom prostoru tj. objektu i troše energiju koja je vezana za taj objekat. Druga grupa procesa je vezana za rastojanje između pojedinih objekata i uglavnom se odnose na potrošnju energije u transportu, od strane transportnih sredstava angažovanih u procesu isporuke robe. U skladu sa navedenim, potrošnja energije ima dve komponente, što se može predstaviti na sledeći način:

$$PE = PE_O + PE_T \quad (6.15)$$

$$PE_O = \sum_{z=1}^Z PP_z \times (PS \times C_e) \quad (6.16)$$

$$PE_T = \sum_{j=1}^m bts_j \times PR_{km} \times PV \times C_{et} \quad (6.17)$$

gde je $z = 1, \dots, Z$ - broj objekta uključenih u sistem isporuke proizvoda, PE_O - potrošnja energije u objektima, PE_T - potrošnja energije u transportu, PS - potrošnja struje (kWh/m²), C_e - jedinična cena energije izražena u n.j/kWh, PR_{km} - pređeni put (km), PV - potrošnja goriva za vozila izražena u l/100km, C_{et} - trošak goriva izražen u n.j./l. Ovde je važno napomenuti da ukoliko se prilikom distribucije iz istog čvora angažuje više različitih tipova vozila, onda je PE_T potrebno izračunati za svaki tip vozila, kako bi se dobila ukupna potrošnja.

Ključni izlazni parametar modela je OTIF koji govori o stepenu kompletnosti isporuke koja je realizovana na vreme. U ovom modelu komponente OTIF-a su izražene procentualno - %. Prilikom ugovaranja vrednosti ovog indikatora u praksi se često definišu donja i gornja vrednost (gde je, na primer, donja vrednost obično 96% a gornja 98%). U slučaju da kompanija koja se bavi distribucijom ima vrednost ispod donje granice, onda se od nje naplaćuju penali, dok u slučaju da ima vrednost preko 98%, kompanija koja je zadužena za distribuciju ima pravo na naplatu bonusa. U ovom modelu, OTIF je podeljen na dve komponente od kojih je sastavljen i to: **isporuka na vreme** (OT) i **kompletnost isporuke** (IF). OT predstavlja rezultantu svih vremena (u slučajevima kada se isporuka realizuje na više mesta), dok IF zavisi od zaliha i grešaka koje mogu nastati u procesu isporuke robe. Vrednosti za ove komponente mogu se izračunati na sledeći način.

$$OT = \frac{\text{broj isporuka na vreme}}{\text{ukupan broj realizovanih isporuka}} \quad (6.18)$$

$$IF = \frac{\text{broj kompletnih isporuka}}{\text{broj ukupno realizovanih isporuka}} \quad (6.19)$$

Troškovi distribucije (TD) obuhvataju sve troškove nastale kroz realizaciju različitih procesa i aktivnosti vezanih za distribuciju i isporuku robe. Svaki proces troši odgovarajuće resurse kao

što su prostor, transportna sredstva, radna snaga, pretovarna sredstva, IT oprema, itd. Ti procesi i resursi se kao i kod potrošnje energije mogu podeliti u dve grupe. Prvu grupu predstavljaju procesi koji se odvijaju u određenom prostoru tj. objektu i reč je o troškovima objekta (TO). Druga grupa procesa je vezana za transport između pojedinih objekata i uglavnom se odnose na troškove transporta i troškove transportnih sredstava angažovanih u procesu isporuke robe (TT), i izraženi su u n.j. TD se mogu izračunati na sledeći način:

$$TD = TO + TT \quad (6.20)$$

$$TO = \sum_{z=1}^Z (TRS_z + TP_z + TOP_z) \quad (6.21)$$

gde su TRS_z – troškovi radne snage u z -tom objektu, TP_z – troškovi prostora u z -tom objektu, TOP_z – troškovi sredstava i opreme u z -tom objektu.

$$TRS_z = ARS \times C_r \quad (6.22)$$

$$TP_z = PP \times JT \quad (6.23)$$

$$TOP_z = T_{PS} + T_{PO} + T_{IT} \quad (6.24)$$

$$TT = T_{vozila} + T_{vozača} + T_{administracije} \quad (6.25)$$

$$T_{vozila} = \sum_{j=1}^m bts_j \times tv_j \quad (6.26)$$

$$T_{vozača} = BR_{avz} \times T_{ang} \times TR_{ang} \quad (6.27)$$

gde je C_r – cena rada izražena u n.j./h, JT - jedinični troškovi angažovanog prostora izraženi u n.j./m², T_{PS} – troškovi pretovarnih sredstava, T_{PO} – troškovi pomoćne opreme, T_{IT} – troškovi IT rešenja (kao što su WMS, TMS, i sl.), T_{vozila} – trošak vozila, $T_{vozača}$ – trošak vozača, tv_j – trošak j -tog vozila, BR_{avz} – broj angažovanih vozača, T_{ang} – vreme angažovanja vozača, TR_{ang} – trošak angažovanja vozača izražen u n.j./h, $T_{administracije}$ – zajednički troškovi administracije u transportu.

Broj isporučenih stavki (BIS) podrazumeva broj stavki koje se dostavljaju isporučnim mestima, što se može prikazati sledećim izrazom:

$$BIS = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S bim_{rs} \times bs_{rs} \quad (6.28)$$

gde je $r = 1, \dots, R$ – broj različitih tipova kupaca, $s = 1, \dots, S$ – isporučna mesta po kupcu, bim_{rs} – broj isporučnih mesta za r -tog kupca, bs_{rs} – broj isporučenih stavki po s -isporučnom mestu za r -tog kupca. Ovaj indikator predstavlja produktivnost sistema distribucije i na njegovo

ispunjenje direktno utiču angažovani resursi kao što su broj TS-a, broj angažovanih radnika, angažovani prostor, oprema i dr.

Sa druge strane, pod *isporučenom količinom robe* (IKR) posmatrana je količina robe koja je isporučena, izražena u tonama robe, a može se predstaviti sledećim izrazom.

$$IKR = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S bim_{rs} \times q_{rs} \quad (6.29)$$

gde je q_{rs} – isporučena količina robe po s -isporučnom mestu za r -tog kupca. Isto kao i u slučaju prethodnog pokazatelja, i IKR predstavlja produktivnost sistema distribucije i na njegovo ispunjenje direktno utiču angažovani resursi kao što su broj TS-a, broj angažovanih radnika, angažovani prostor, oprema i dr.

6.3.2 Matematička formulacija modela

Kako bi se procenila efikasnost ispunjenja OTIF-a u procesu distribucije proizvoda primenjen je DEA CCR-izlazno orijentisan model, koji je predstavljen u nastavku (Mardani et al., 2017):

$$\min \sum_r v_r x_{ij0} \quad (6.30)$$

p.o.

$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_r v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j \quad (6.31)$$

$$\sum_i u_i y_{ij0} = 1 \quad (6.32)$$

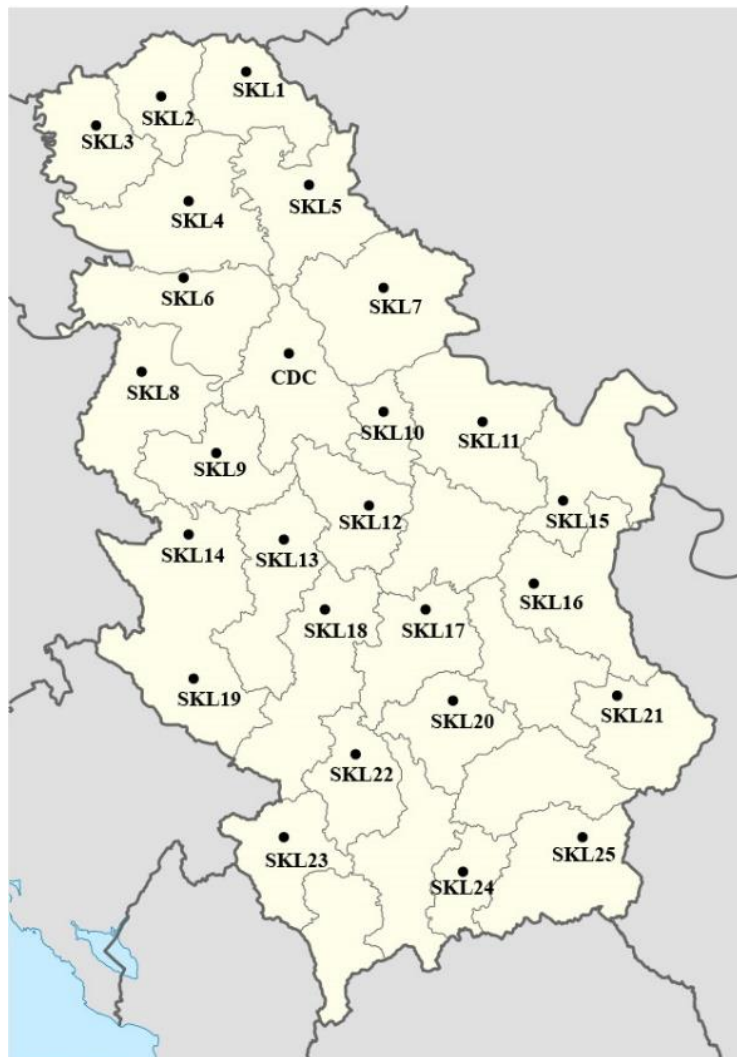
$$u_r, v_i \geq 0, \forall r, \forall i \quad (6.33)$$

gde j predstavlja broj DMU-a ($j=1, 2, \dots, n$), m predstavlja broj ulaza ($x_{ij} = 1, 2, \dots, m$) i s predstavlja broj izlaza ($y_{rj} = 1, 2, \dots, s$). y_{rj} predstavlja iznos r -tog izlaza od DMU_j ; u_r predstavlja težinu dodeljenu r -tom izlazu; x_{ij} predstavlja iznos i -tog ulaza iskorišćenog od strane DMU_j ; v_i predstavlja težinu koja se dodeljuje i -tom ulazu.

6.4 TESTIRANJE MODELA I ANALIZA REZULTATA

Opisan postupak i model testiran je na primeru iz realnog sistema distribucije rezervnih delova. Distributivna mreža se sastoji od jednog centralno distributivnog centra (CDC) i 25 skladišta (SKL) regionalnog tipa (Slika 6.3). Prilikom distribucije, regionalna skladišta poručuju rezervne delove, koji se iz CDC-a isporučuju dostavnim vozilima. Krajnji kupci i potrošači se snabdevaju iz regionalnih skladišta. Generalno, postoje tri vrste kupaca koji gravitiraju svakom regionalnom skladištu i to: sopstvene maloprodajne prodavnice, eksterne maloprodajne

prodavnice i servisi za održavanje transportnih sredstava. Kupci poručuju rezervne delove iz regionalnih skladišta, nakon čega se realizuje isporuka.



Slika 6.3. Izgled mreže za distribuciju rezervnih delova

Ulazni podaci koji su korišćeni kako bi se utvrdila efikasnost ispunjenja OTIF-a u procesu distribucije prikazani su u nastavku, u tabeli 6.2. Prikazani podaci predstavljaju ostvarene vrednosti za period od mesec dana. Nakon definisanja ulaznih podataka i postavljanja modela, softver OSDEA je primenjen kako bi se procenila efikasnost i dobili rezultati. Za potrebe ovog modela primenjen je CCR model koji je izlazno orijentisan. DMU u ovom modelu su zapravo skladišta preko kojih se realizuje distribucija i od efikasnosti realizacije ovog procesa u njihovim distributivnim mrežama zavisi i efikasnost ispunjenja OTIF-a.

Tabela 6.2. Ulazni podaci DEA modela

<i>U/I</i>	<i>Ulazni parametri</i>						<i>Izlazni parametri</i>				
DMU	Angažovana radna snaga (h)	Površina prostora (m ²)	Angažovana transportna sredstva (h)	Zalihe (mil n.j.)	Broj isporučnih mesta	Potrošnja energije (mil n.j.)	On-time (%)	In-full (%)	Troškovi distribucije (mil n.j.)	Broj isporučenih stavki	Isporučena količina (kg)
DMU1	1000	2152	1050	1.22	83	2.68	82	90	8.99	16588	103421
DMU2	2800	3354	1250	1.91	195	3.47	80	96	11.47	26445	155650
DMU3	1600	1991	1350	1.39	119	3.22	82	90	10.55	56898	127928
DMU4	2000	2605	1650	1.85	128	3.15	80	91	12.5	85496	122552
DMU5	2200	3298	1290	2.02	90	2.96	97	90	9.6	24508	47632
DMU6	2200	4150	1650	2.48	116	2.76	86	95	9.89	52664	125232
DMU7	2000	3875	1540	1.82	116	2.15	82	92	7.54	60668	151844
DMU8	1000	2111	1650	1.73	85	2.67	85	96	8.93	17835	102560
DMU9	1400	2050	1880	1.86	84	1.37	99	90	4.32	55608	104664
DMU10	2200	3373	1850	1.87	82	3.09	89	92	11.35	7020	45632
DMU11	1600	2402	1050	2.01	62	1.32	82	94	4.99	29088	34848
DMU12	2200	4078	1950	1.93	182	2.7	81	94	9.67	24206	187288
DMU13	1800	2820	2100	1.25	115	3.22	96	91	12.21	64400	144210
DMU14	2200	3600	1800	2.19	135	2.11	82	95	7.44	16905	39120
DMU15	1600	1942	1870	1.47	55	1.42	94	90	4.22	26215	80410
DMU16	2800	3027	1350	1.97	179	3.9	96	87	11	51404	102621
DMU17	2800	3467	1090	1.81	200	3.23	90	86	11.88	33000	177000
DMU18	2400	2930	1830	2.03	183	2.26	91	98	8.12	59109	139576
DMU19	2600	3005	800	1.99	158	3.31	96	91	12.32	55614	136558
DMU20	2800	3267	750	2.12	138	2.95	96	93	8.76	28218	179018
DMU21	2800	3410	1950	1.87	164	3.57	98	94	12.5	34620	82868
DMU22	1600	1828	2160	1.81	68	1.39	83	89	4.97	48280	94928
DMU23	1000	2360	1150	1.42	48	3.01	82	87	10.43	20616	124640
DMU24	1400	2752	1390	1.48	124	2.87	80	85	9.72	61024	125772
DMU25	3000	3215	2175	2.09	166	3.62	94	95	12.64	31780	81000

Nakon kvantifikacije i pripreme ulaznih parametara primenjena je DEA metoda kako bi se utvrdila efikasnost DMU jedinica (skladišta) u procesu distribucije robe. Dobijeni rezultati prikazani su tabelom 6.3, i na osnovu tih rezultata može se zaključiti da od 25 DMU jedinica, njih 7 je neefikasno (DMU2, DMU5, DMU6, DMU14, DMU16, DMU21 i DMU25), dok je njih 18 efikasno. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da 28% skladišta nije efikasno u ispunjenju zahteva korisnika, odnosno korišćenju logističkih resursa. Iz tog razloga, ova skladišta su dalje analizirana kako bi se utvrdilo kako i ona mogu da unaprede poslovanje u cilju unapređenja ispunjenosti OTIF-a.

Tabela 6.3. Rezultati modela za procenu efikasnosti ispunjenosti OTIF-a

DMU	Efikasnost	Efikasna DMU
DMU1	1	Da
DMU2	0.9307	
DMU3	1	Da
DMU4	1	Da
DMU5	0.9396	
DMU6	0.9539	
DMU7	1	Da
DMU8	1	Da
DMU9	1	Da
DMU10	1	Da
DMU11	1	Da
DMU12	1	Da
DMU13	1	Da
DMU14	0.9104	
DMU15	1	Da
DMU16	0.8778	
DMU17	1	Da
DMU18	1	Da
DMU19	1	Da
DMU20	1	Da
DMU21	0.9169	
DMU22	1	Da
DMU23	1	Da
DMU24	1	Da
DMU25	0.8965	

Pored ukupne efikasnosti DMU jedinica izvršena je analiza stepena ispunjenosti OTIF-a kroz dve ključne komponente: isporuka na vreme (% *On-Time*) i isporuka u potpunosti (% *In-Full*). Analiza ostvarenih vrednosti ovih parametara po pojedinim DMU jedinicama izvršena je u odnosu na referentne vrednosti, koje su usvojene na bazi standardnih parametara OTIF-a, koji se mogu pronaći u raspoloživoj literaturi. Kad je u pitanju isporuka na vreme uzeta je referentna vrednost 92%, i komparativnom analizom utvrđeno je da tu vrednost ne ispunjavaju sledeće DMU jedinice: DMU1, DMU2, DMU3, DMU4, DMU6, DMU7, DMU8, DMU10, DMU11, DMU12, DMU14, DMU17, DMU18, DMU22, DMU23 i DMU24.

Za ispunjenost porudžbine u potpunosti usvojena je referentna vrednost od 95%, a analiza je pokazala da tu vrednost ne ispunjavaju sledeće DMU jedinice: DMU1, DMU3, DMU4, DMU5,

DMU7, DMU9, DMU10, DMU11, DMU12, DMU13, DMU15, DMU16, DMU17, DMU19, DMU20, DMU21, DMU22, DMU23 i DMU24.

Zajedničkom analizom ukupne efikasnosti i stepena ispunjenosti OTIF-a od strane pojedinih DMU jedinica može se konstruisati matrica odlučivanja (Slika 6.4).

Efikasnost			
Da	DMU1, DMU3, DMU4, DMU7, DMU8, DMU10, DMU11, DMU12, DMU17, DMU18, DMU22, DMU23, DMU24	DMU9, DMU13, DMU15, DMU19, DMU20	
Ne	DMU2, DMU6, DMU14	DMU5, DMU16, DMU21, DMU25	
	Ne	Da	Isporuke na vreme

Efikasnost			
Da	DMU1, DMU3, DMU4, DMU7, DMU9, DMU10, DMU11, DMU12, DMU13, DMU15, DMU17, DMU19, DMU20, DMU22, DMU23, DMU24	DMU8, DMU18	
Ne	DMU5, DMU16, DMU21	DMU2, DMU6, DMU14, DMU25	
	Ne	Da	Isporuka u potpunosti

Slika 6.4. Matrica odlučivanja

Na osnovu slike 6.4, sve DMU jedinice se mogu svrstati u četiri grupe, koje je potrebno dalje razmatrati i za koje je potrebno doneti odgovarajuće odluke:

- Prva grupa su DMU jedinice, koje ne realizuju isporuke na vreme i/ili u potpunosti i koje su neefikasne u korišćenju raspoloživih logističkih resursa. U slučaju ovih jedinica neophodno je izvršiti potpuno preispitivanje načina realizacije distribucije i neophodno je unapređenje procesa uz radikalne izmene (reinženjering procesa).
- Druga grupa su DMU jedinice, koje ne realizuju isporuke na vreme i/ili u potpunosti, ali efikasno koriste resurse. U ovom slučaju, neophodno je pronaći uzroke koji dovode do neispunjenosti OTIF-a i unaprediti procese kako bi se time unapredio stepen ispunjenosti OTIF-a.
- Treća grupa su DMU jedinice, koje isporuke realizuju na vreme i/ili u potpunosti ali neefikasno koriste resurse. Slično kao i kod prethodne grupe, i ovde je neophodno raditi na kontinualnom unapređenju efikasnosti. Takođe, kod ove grupe potrebno je utvrditi da li će se promenom iskorišćenja resursa uticati na ispunjenost OTIF-a.

- Četvrta grupa su DMU jedinice, koje isporuku realizuju na vreme i/ili u potpunosti i efikasno koriste resurse. Ove jedinice predstavljaju *benčmark* za prethodno navedene grupe.

Pored efikasnosti, primenom softvera dobijeni su još neki rezultati koji se mogu iskoristiti kako bi se unapredila efikasnost skladišta koja su trenutno neefikasna. Naime, tabelom 6.4 za svako skladište prikazana su skladišta koja mogu predstavljati *benčmark* (referentno skladište na koje se to skladište može ugledati kako bi postalo efikasno). Na osnovu ovih rezultata tačno se može videti na koje skladište bi svako neefikasno skladište trebalo da se ugleda. Tako na primer skladišta 1, 3, 9, 17, 19 i 20 mogu biti *benčmark* za skladište 2 (kako bi unapredilo efikasnost u ispunjenju OTIF-a). Za skladište 5 to su skladišta 1, 11, 19, 20 i 23 i tako redom za svako neefikasno skladište.

Tabela 6.4. *Benčmark skladišta*

DMU	<i>Benčmark</i>
DMU1	DMU1.
DMU2	DMU1, DMU3, DMU9, DMU17, DMU19, DMU20.
DMU3	DMU3.
DMU4	DMU4.
DMU5	DMU1, DMU11, DMU19, DMU20, DMU23.
DMU6	DMU4, DMU7, DMU11, DMU22, DMU23.
DMU7	DMU7.
DMU8	DMU8.
DMU9	DMU9.
DMU10	DMU10.
DMU11	DMU11.
DMU12	DMU12.
DMU13	DMU13.
DMU14	DMU4, DMU11, DMU13.
DMU15	DMU15.
DMU16	DMU1, DMU3, DMU9, DMU13, DMU19.
DMU17	DMU17.
DMU18	DMU18.
DMU19	DMU19.
DMU20	DMU20.
DMU21	DMU4, DMU11, DMU13, DMU19.
DMU22	DMU22.
DMU23	DMU23.
DMU24	DMU24.
DMU25	DMU4, DMU9, DMU11, DMU13, DMU22.

Pored ovih rezultata, dobijeni su i rezultati vrednosti *slack*-a koji govore o tome koliko se određeni ulazi/izlazi trebaju promeniti kako bi se unapredila efikasnost skladišta koja su

trenutno neefikasna (Tabela 6.5). Međutim, na osnovu rezultata koji su prikazani u tabeli 6.5, može se zaključiti da čak i efikasni DC-i imaju mesta za sitna unapređenja. To se najbolje može videti po vrednostima *slack*-a za DMU19 i DMU23.

Tabela 6.5. Slack vrednosti DEA modela

DMU	U1	U2	U3	U4	U5	U6	I1	I2	I3	I4	I5
DMU1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU2	359.8609006	0	0	0	22.63254408	0	17.25751943	0	0	8729.326015	0
DMU3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU5	468.8679928	309.8962247	0	0	0	0	0	15.9476571	0	3886.139904	67723.75803
DMU6	170.1648167	883.6237812	0	0.459585226	0	0	0	1.768375242	0	12933.36626	0
DMU7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU14	271.5275226	834.3692957	410.2985533	0	42.98178515	0	1.393341022	0	0	33141.54333	26553.66905
DMU15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU16	505.1931899	0	0	0	22.76131019	0	0	13.8877965	1.026340748	0	39896.55145
DMU17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU19	-2.7428E-10	0	0	0	0	0	0	0	0	1.07218E-08	0
DMU20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU21	484.2459732	163.4350496	0	0	22.18988762	0	0	4.631725024	0	37646.94291	59379.26451
DMU22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU23	-1.73954E-10	3.77506E-10	0	0	0	0	0	0	0	9.62237E-09	0
DMU24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU25	667.2752912	0	0	0	22.47481038	0	0	6.482764317	0	55296.76102	58855.357

Velika prednost predloženog modela ogleda se u činjenici da se uz određene izmene (u ulaznim i izlaznim podacima) ovaj model može primeniti na brojne probleme u logistici. Takođe, ukoliko određena kompanija nema sve parametre koji su korišćeni u ovom modelu, uz manje izmene isti model se može primeniti bez ikakvih ograničenja. Primer koji je korišćen u ovoj disertaciji za testiranje predložene metodologije je uzeo u razmatranje samo 26 centara, međutim model se može primeniti i na problemima većih dimenzija. Pored menadžerskih implikacija, predloženi model predstavlja i odličnu osnovu za buduća teorijska istraživanja, s obzirom da je uočeno prilikom pregleda literature da ne postoje radovi koji u okviru modela uzimaju u obzir OTIF. Kombinovanje predložene metodologije sa drugim metodama (npr. MCDM metodama, *Lean* alatima i dr.) predstavlja jedan od budućih pravaca istraživanja. Takođe, primena metodologije na primeru iz prakse, tj. realnim podacima se takođe izdvaja kao jedan od pravaca budućih istraživanja, kao i uzimanje još nekih KPI-a za ulazne odnosno izlazne parametre, kao što je npr. već pomenuta OSA, kako bi se dobili još detaljniji rezultati.

Ovaj model može biti dobra podrška procesu odlučivanja na području distribucije, gde su donosioci odluka vrlo često u dilemi kako unapređenje efikasnosti korišćenja resursa utiče na povećanje OTIF-a i obrnuto, i kako visok nivo OTIF-a utiče na korišćenje resursa. Rezultati primene predloženog modela pokazali su da razvijeni model može biti upotrebljiv u realnim sistemima, čime je hipoteza H4, koja glasi: razvojem modela za merenje i praćenje indikatora kvaliteta i efikasnosti isporuke robe, može se obezbediti odgovarajuća podrška sistemu odlučivanja na području distribucije proizvoda, potvrđena.

7. ZAKLJUČAK

U uslovima kada se lanci snabdevanja i logistički procesi realizuju u globalnom i vrlo dinamičnom okruženju, proces odlučivanja je vrlo zahtevan i kompleksan. Odluke se često donose u uslovima velike nestabilnosti, promenljivosti, neizvesnosti i nepredvidivosti. S druge strane, na proces odlučivanja značajno utiču novi trendovi, izazovi i poremećaji koji redovno prate logističke aktivnosti u lancu snabdevanja. Ubrzanje poslovanja zahteva da se vrlo složene logističke odluke donose u kratkim vremenskim rokovima. Sve ovo je posebno izraženo na području nabavke i distribucije, koje su ključne funkcije poslovne logistike. Sama nabavka, kao i distribucija odlikuju se velikom kompleksnošću procesa i aktivnosti, s obzirom da je nabavka odgovorna za poručivanje, dopunjavanje zaliha, transport, skladištenje i isporuku materijala u proizvodnju ili sisteme distribucije i prodaje, dok je distribucija odgovorna za isporuku robe krajnjim potrošačima i može biti ključan faktor konkurentnosti i zadovoljstva korisnika. Čitav proces nabavke i distribucije se dodatno komplikuje kada se govori o e-trgovini koja generiše i pred logistiku postavlja nove zahteve i izazove. Kolika je značajnost distribucije u e-trgovini govore i podaci istraživanja u kojima se navodi da logistički troškovi predstavljaju 12-20% od prihoda e-trgovine sa tendencijom rasta na čak 15-25%, dok se klasične maloprodajne radnje susreću sa logističkim troškovima od manje od 5% (Waredock, 2023; Clickpost, 2023). Preko funkcija nabavke i distribucije kompanije ostvaruju i održavaju kontakte sa dobavljačima i krajnjim potrošačima, a kvalitet odnosa direktno utiče na konkurentnost i efikasnost poslovanja.

Da bi poslovna logistika uspešno odgovorila na složene zadatke i izazove, neophodno je da se proces odlučivanja bazira na odgovarajućim modelima, alatima i podacima. Međutim, značajan broj raspoloživih modela ima određena ograničenja i nije ih moguće primeniti u novim uslovima. Pregledom naučne literature jasno je uočen *gap* između realnih problema i raspoloživih modela. Neophodno je razvijati nove pristupe i alate, što i jeste bio cilj ove disertacije. U tom smislu, razvijeni su modeli koji bolje tretiraju nove okolnosti i obezbeđuju podršku sistemu odlučivanja na području poslovne logistike. Oni predstavljaju i osnovne naučne doprinose koji su ukratko predstavljeni u narednim izlaganjima.

7.1 NAUČNI DOPRINOSI

Naučni doprinosi disertacije ogledaju se kroz četiri razvijena i testirana modela odlučivanja. Prvi model predstavlja podršku sistemu odlučivanja o izboru dobavljača i alokaciji porudžbine u procesu nabavke, i baziran je na primeni DEA-FUCOM-CoCoSo metoda. Razvijeni model je testiran na primeru kompanije koja posluje na tržištu Srbije. DEA metoda je primenjena u prvoj fazi kako bi se od potencijalnih dobavljača izdvojili samo efikasni koji su potom dalje analizirani. Cilj primene DEA metode bio je da se upravo izdvoje samo efikasni dobavljači, kako bi se izbeglo poručivanje od neefikasnih, što bi se negativno odrazilo na efikasnost poslovanja same kompanije. Primenom ove metode dobavljači su ocenjivani na osnovu dva ulazna (nabavljena količina robe i nabavna vrednost) i šest izlaznih parametara (prihod, prodajna vrednost, broj prodavnica u kojima se roba tog dobavljača prodaje, otpis, troškovi prekomernih zaliha i nivo usluge), nakon čega je ustanovljeno da je šest dobavljača efikasno. U drugoj fazi, primenjena je FUCOM metoda kako bi se utvrdile težine devet kriterijuma koji su korišćeni za evaluaciju dobavljača. U trećoj fazi primenjena je CoCoSo metoda kako bi se izvršilo rangiranje efikasnih dobavljača. Rangiranje je izvršeno kako bi se izdvojila tri najbolje rangirana dobavljača koji su potom dalje analizirani. Naime, pored izbora dobavljača, još jedan od problema koji je prisutan u nabavci a koji takođe može imati uticaja na ostale procese jeste

alokacija poručivanja. Iz tog razloga, u poslednjoj fazi razvijenog modela, definisan je model linearnog programiranja sa jednom funkcijom cilja i 70 ograničenja koji za cilj ima upravo alociranje poručene količine. Model predstavlja naučni doprinos s obzirom da se opisani problemi uglavnom rešavaju primenom modela linearnog programiranja dok je ovde primenjena kombinacija MCDM metoda i modela linearnog programiranja. Razvijeni model, kao i rezultati njegove primene objavljeni su u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti. Na osnovu dobijenih rezultata primene prethodno opisanog modela može se reći da je potvrđena hipoteza H1: Sveobuhvatnim pristupom izboru dobavljača i alokaciji poručene količina robe moguće je unaprediti proces odlučivanja na području logistike nabavke.

Drugi model predstavlja podršku sistemu odlučivanju prilikom izbora pravila isporuke iz Incoterms-a. Kako bi se postavljeni cilj dostigao, razvijen je model koji se zasniva na primeni MEREC i MABAC metoda. Pre primene samih metoda, a kako bi se došlo do ulaznih podataka, izvršeno je anketno istraživanje kompanija koje se bave međunarodnom trgovinom a posluju na tržištu Srbije. Anketa se sastojala iz 26 pitanja koja su imala za cilj da se odredi praktična primena pojedinih pravila isporuke i faktori koji utiču na njihov izbor u realnim uslovima i lancima snabdevanja. Nakon sprovedenog anketnog istraživanja, obrađeno je 60 validnih odgovora. Na osnovu rezultata istraživanja može se zaključiti da se EXW, FCA, DAP i FOB najčešće koriste prilikom uvoza u Srbiju, dok se prilikom izvoza najčešće koriste DAP, FCA, EXW i DDP. Sa druge strane, kada se analiziraju faktori koji utiču na izbor pravila isporuke, rezultati su pokazali da su najznačajniji: zahtevi ino-partnera (76,7%), troškovi logistike i osiguranja (53,3%), raspoloživi vidovi transporta (36,7%), vrsta i vrednost robe (35%), mogućnost upravljanja isporukom (31,7%), udaljenost ino-partnera (31,7%), i dr. Rezultati anketnog istraživanja su potom iskorišćeni u drugoj i trećoj fazi modela. Naime, kako bi se izvršilo vrednovanje analiziran je lanac snabdevanja uvoza robe iz Kine u Srbiju. Cilj modela bio je da se izvrši rangiranje četiri najčešće korišćenih pravila isporuke (EXW, FCA, DAP i FOB) primenom devet kriterijuma (zahtevi ino-partnera, troškovi lanca snabdevanja, kompleksnost procesa u lancu snabdevanja, uticaj uslova isporuke na cenu proizvoda, upravljanje lancem snabdevanja, rizici u lancu snabdevanja, troškovi osiguranja, vreme isporuke i pouzdanost isporuke). MEREC metoda je primenjena u drugoj fazi modela kako bi se utvrdile težine kriterijuma, dok je u trećoj fazi primenjena MABAC metoda za rangiranje uslova isporuke. Na osnovu rezultata došlo se do zaključka da je EXW najbolje rangirano pravilo isporuke. U poslednjoj fazi izvršena je analiza osetljivosti kako bi se utvrdilo da li će doći do promene u rangiranju varijanti. Razvijeni model popunjava uočeni *gap* u literaturi, s obzirom da ne postoji veliki broj istraživanja i modela koja ovom problemu pristupaju na ovaj način. Nakon primene predložene metodologije došlo se do zaključka da je razvijeni model upotrebljiv i da je potvrđena postavljena hipoteza H2: Razvojem modela za ocenu pravila iz Incoterms-a, može se obezbediti odgovarajuća podrška za izbor najpovoljnijih uslova isporuke u međunarodnoj trgovini i logistici.

Treći model predstavlja podršku sistemu odlučivanju prilikom izbora rezilijentnog 4PL provajdera za potrebe distribucije proizvoda u e-trgovini. Razvijeni model je baziran na primeni *fuzzy* FUCOM, ET, RBT i WASPAS metoda. *Fuzzy* FUCOM metoda je primenjena kako bi se za 10 kriterijuma (cena usluge, vreme realizacije usluge, kvalitet usluge, IT mogućnosti, izgled lanca snabdevanja, bezbednosne zalihe, fleksibilnost, saradnja, redundantnost i upravljanje rizikom) koji su korišćeni za evaluaciju rezilijentnih 4PL provajdera odredile težine. ET i RBT metode su primenjene potom u drugoj fazi modela kako bi se odredila početna matrica odlučivanja. Prednost primene ovih metoda u odnosu na standardne MCDM metode ogleda se u činjenici da podržavaju primenu nekompletnih ocena. Nakon uspostavljanja početne matrice odlučivanja, WASPAS metoda je primenjena kako bi se izvršilo rangiranje pet rezilijentnih 4PL provajdera. Razvijeni model je testiran i primenjen na

primeru globalnog *online* trgovca, koji na tržište Zapadnog Balkana i Jugoistočne Evrope prodaje i isporučuje proizvode koji potiču iz Kine i zemalja Dalekog istoka. Ova kompanija koristi usluge nekoliko različitih logističkih provajdera sa globalnog i lokalnog tržišta. Na osnovu rezultata došlo se do zaključka da je model dokazao upotrebljivost i da je potvrđena početna hipoteza H3: Novi pristupi i modeli za evaluaciju rezilijentnih logističkih provajdera, mogu unaprediti proces odlučivanja u uslovima izraženih izazova i poremećaja pri isporuci proizvoda u e-trgovini. Takođe, i ovaj model, kao i rezultati njegove primene objavljeni su u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti.

Četvrti model predstavlja podršku sistemu odlučivanja prilikom merenja ispunjenosti OTIF-a i efikasnosti na području distribucije proizvoda. Jedan od osnovnih razloga autorsovanja procesa distribucije pored smanjenja troškova jeste unapređenje efikasnosti ovog procesa. Kako bi se izmerila efikasnost provajdera koji realizuje proces distribucije neophodno je definisati neki od indikatora performansi, gde je jedan od najčešće primenjivanih OTIF. Razvijeni model je baziran na primeni DEA metode i testiran je na primeru kompanije koja se bavi distribucijom rezervnih delova. Cilj modela bio je da integriše OTIF u proces merenja efikasnosti primenom DEA metode, što do sada nije odrađeno u literaturi. Pored toga, kako bi se dobili još merodavniji rezultati, OTIF je u ovom modelu podeljen na dve komponente od kojih se sastoji (OT i IF). Kako bi se predložena metodologija testirala, definisan je primer distributivne mreže koja se sastoji od jednog centralnog distributivnog centra i 25 skladišta iz kojih se vrši opsluživanje krajnjih korisnika. Za procenu efikasnosti ispunjenja OTIF-a korišćeno je šest ulaznih (angažovana radna snaga, površina prostora, angažovana transportna sredstva, zalihe, broj isporučnih mesta i potrošnja energije) i pet izlaznih (isporuka na vreme, kompletnost isporuke, troškovi distribucije, broj isporučenih stavki i isporučena količina robe) parametara. Rezultati primene predložene metodologije pokazali su da je 18 skladišta efikasno od ukupnog broja skladišta posmatranih u ovom primeru. Pored toga, primenom predložene metodologije došlo se i do *benčmarka* (skladišta na koja bi neefikasna skladišta trebalo da se ugledaju kako bi postala efikasna). Rezultati primene dokazali su da je model upotrebljiv i na osnovu toga može se zaključiti da je potvrđena početna hipoteza H4: Razvojem modela za merenje i praćenje indikatora kvaliteta i efikasnosti isporuke robe, može se obezbediti odgovarajuća podrška sistemu odlučivanja na području distribucije proizvoda. Razvijeni modeli u ovoj disertaciji obezbeđuju odgovarajuću podršku sistemu odlučivanja na području poslovne logistike i mogu imati svoju dalju naučno-istraživačku i praktičnu primenu.

7.2 PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Pored doprinosa, kroz istraživanje identifikovana su tri glavna pravca budućih istraživanja. Prvi pravac budućih istraživanja odnosi se na primenu razvijenih modela na ostala područja logistike i lanaca snabdevanja kao i na rešavanje srodnih problema. Generalno, pod ovim pravcem podrazumeva se primena predloženih modela za rešavanje sledećih problema: izbor lokacije (fabrike, skladišta, distributivnog centra, i dr.), izbor kanala distribucije, izbor rute prilikom distribucije, izbor 3PL provajdera, itd. Razvoj softverskih aplikacija primenom *Python* jezika kako bi se olakšala primena predloženih modela, naročito za ljude iz privrede, se takođe izdvaja kao jedan od značajnijih pravaca u okviru prvog pravca istraživanja.

Drugi pravac budućih istraživanja podrazumeva razvoj novih hibridnih modela koji kombinuju razne metode da bi se proširila primena razvijenih modela na nove zadatke i probleme u logistici. Novi modeli podrazumevaju kombinovanje sa modelima metaheuristike, novim metodama za subjektivno i objektivno utvrđivanje težina kriterijuma (kao što su CRITIC, Entropy, IDOCRIW, BWM, i dr.), kao i novim MCDM metodama (kao što su EDAS, MOORA, VIKOR, COPRAS, i dr.) za rangiranje varijanti. Takođe, poređenje rezultata

dobijenih primenom tih novih hibridnih modela sa rezultatima dobijenim u ovoj disertaciji se takođe izdvaja kao dodatni pravac u okviru ovog drugog pravca budućih istraživanja.

Treći pravac budućih istraživanja podrazumeva razvoj novih hibridnih modela koji kombinuju razne modele mašinskog učenja (engl. *Neural networks*, *Random forest*, *Decision tree*, *Naive Bayes* i dr.), veštačke inteligencije, *Big Data*, i dr. u cilju automatizacije odlučivanja. Takođe, ovim kombinacijama olakšala bi se primena i obrada velikog broja podataka koji se koriste u procesu odlučivanja, a koja su karakteristična za probleme koji su analizirani u ovoj doktorskoj disertaciji.

LITERATURA

- [1] ABCSupplyChain. (2023). Dostupno na: <https://abcsupplychain.com/otif-fill-rate-difot>. [Pristupano: 11.10.2023.].
- [2] Abdirad, M., Krishnan, K. (2022). Examining the impact of E-supply chain on service quality and customer satisfaction: a case study. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 14, 274-290.
- [3] Abushaikha, I., Salhie, L. and Towers, N. (2018). Improving distribution and business performance through lean warehousing. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 46(8), 780-800.
- [4] Adapt Ideations (2022). OTIF in the Supply Chain – What is it and how to calculate it. Dostupno na: <https://www.adaptideations.com/otif-in-the-supply-chain-what-is-it-and-how-to-calculate-it#:~:text=OTIF%20is%20a%20metric%20used,%2C%20manufacturers%2C%20and%20logistics%20companies>. [Pristupano: 19.10.2023.].
- [5] Aggarwal, R. (2019). Third-party logistics service providers selection using AHP-DEAHP approach. *International Journal of Integrated Supply Management*, 12, 259–284.
- [6] Andrejić M., Kilibarda, M., Pajić, V. (2021). Measuring efficiency change in time applying malmquist productivity index: a case of distribution centers in Serbia. *Facta Universitatis, Series Mechanical Engineering*, 19(3), 499-514.
- [7] Andrejić, M. (2015). Modeli merjenja i unapređenja efikasnosti logističkih procesa distribucije proizvoda. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- [8] Andrejić, M. (2023). Modeling Retail Supply Chain Efficiency: Exploration and Comparative Analysis of Different Approaches. *Mathematics*, 11, 1571.
- [9] Andrejić, M., Bojović, N., Kilibarda, M. (2016). A framework for measuring transport efficiency in distribution centers. *Transport Policy*, 45, 99-106.
- [10] Andrejić, M., Kilibarda, M. (2015). Distribution channels selection using PCA-DEA approach. *International Journal for Traffic and Transport Engineering (IJTTE)*, 5(1), 74-81.
- [11] Andrejić, M., Kilibarda, M. (2016). Measuring global logistics efficiency index using PCA-DEA approach. *Tehnika*, 5(5), 733-741.
- [12] Andrejić, M., Kilibarda, M. (2017). Efikasnost logističkih proces. *Monografija*. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [13] Andrejić, M., Pajić, V., Kilibarda, M. (2023). Distribution Channel Selection Using FUCOM-ADAM: A Novel Approach. *Sustainability*, 15, 14527.
- [14] Anđelković, A., Radosavljević, M. (2020). The length of the distribution channel as a factor of its efficiency. *Strategic Management*, 25(2), 009-017.
- [15] Anna, I.D., Fhiliantie, P.R. (2018). Supplier selection and order quantity allocation of raw material using integer linear programming. *International Journal of ASRO*, 9(1), 98-105.
- [16] Aouadni, S., Aouadni, I., Rebai, A. (2019). A systematic review on supplier selection and order allocation problems. *Journal of Industrial Engineering International*, 15, 267–289.
- [17] Atieh, A.M., Kaylani, H., Al-abdallat, Y., Qaderi, A., Ghoul, L., Jaradat, L., Hdairis, I. (2016). Performance Improvement of Inventory Management System Processes by an Automated Warehouse Management System. *Procedia CIRP*, 41, 568-572.

- [18] Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L., Benaissa, M. (2021). Novel Fuzzy Composite Indicators for Locating a Logistics Platform under Sustainability Perspectives. *Sustainability*, 13, 3891-3928.
- [19] Aydin, S., Yorukoglu, M., Kabak, M. (2022). Fourth party logistics firm assessment using a novel neutrosophic MCDM. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42, 529-539.
- [20] Baboli, A., Fondrevelle, J., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mehrabi, A. (2011). A replenishment policy based on joint optimization in a downstream pharmaceutical supply chain: centralized vs. decentralized replenishment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57, 367–378.
- [21] Baena-Rojas, J.J., Cano, J.A. (2022). Technique for Estimation of Costs and Prices in Contracts for the International Sale of Goods Based on Incoterms. *Acta logistica*, 9(2), 171-181.
- [22] Baglio, M., Perotti, S., Dallari, F., Garagiola, E.R. (2019). Benchmarking logistics facilities: A rating model to assess building quality and functionality. *Benchmarking International Journal*, 27, 1239–1260.
- [23] Balm, S., van Amstel, W.P. (2018). Exploring Criteria for Tendering for Sustainable Urban Construction Logistics. Poglavlje 13, *City Logistics 1: New Opportunities and Challenges*.
- [24] Beamon, B.M. (1999). Measuring Supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(3), 275-292.
- [25] Belieres, S., Hewitt, M., Jozefowicz, N., Semet, F., Van Woensel, T. (2020). A Benders decomposition-based approach for logistics service network design. *European Journal of Operational Research*, 286(2), 523-537.
- [26] Bergami, R., Ticha, L. (2022). Managing Incoterms® 2020 export risks. *International Journal of Economics and Business Research*, 23(2), 255-273.
- [27] Berk, E., Ayas, O., Ülkü, M.A. (2023). Optimizing Process-Improvement Efforts for Supply Chain Operations under Disruptions: New Structural Results. *Sustainability*, 15, 13117.
- [28] Bhattacharjya, J., Ellison, A., Tripathi, S. (2016). An exploration of logistics-related customer service provision on Twitter: The case of e-retailers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46, 659-680.
- [29] Bhatti, R.S., Kumar, P., Kumar, D. (2010). A loss function based decision support model for 3PL selection by 4PLs. *International Journal of Integrated Supply Management*, 5, 365-375.
- [30] Bian, J., Guo, X., Li, K.W. (2018). Decentralization or integration: Distribution channel selection under environmental taxation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 113, 170-193.
- [31] Blackhurst, J., Dunn, K.S., Craighead, C.W. (2011). An Empirically Derived Framework of Global Supply Resiliency. *Journal of Business Logistics*, 32, 374-391.
- [32] Bottani, E., Centobelli, P., Murino, T. i Shekarian, E. (2018). A QFD-ANP Method for Supplier Selection with Benefits, Opportunities, Costs and Risks Considerations. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(3), 911-939.
- [33] Božanić, D.I., Pamučar, D.S., Karović, S.M. (2016). Primene metode MABAC u podršci odlučivanju upotrebe snaga u odbrambenoj operaciji. *Tehnika*, 71(1), 129-136.
- [34] Business Logistics, 2023. Dostupno na: <https://www.referenceforbusiness.com/encyclopedia/Bre-Cap/Business-Logistics.html> [Pristupano: 20.02.2023.]

- [35] Buyukozkan, G., Feyzioglu, O., Ersoy, M.S. (2009). Evaluation of 4PL operating models: A decision-making approach based on 2-additive Choquet integral. *International Journal of Production Economics*, 121, 112-120.
- [36] Byrne, P.J., Heavey, C. (2006). The impact of information sharing and forecasting in capacitated industrial supply chains: A case study. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 420-437.
- [37] Caglar, B., Aydin, K. (2020). The role of 4PL provider as a mediation and supply chain agility. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 2, 99-111.
- [38] Cano, J.A., Gómez, R.A., Cortés, P. (2021). ICT Validation in Logistics Processes: Improvement of Distribution Processes in a Goods Sector Company. *Informatics*, 8, 75.
- [39] Cano, J.A., Londoño-Pineda, A., Rodas, C. (2022). Sustainable Logistics for E-Commerce: A Literature Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14, 12247.
- [40] Carrillo-Corzo, A., Tarazona-Gonzales, E., Quiroz-Flores, J., Viacava-Campos, G. (2021). Lean Process Optimization Model for Improving Processing Times and Increasing Service Levels Using a Deming Approach in a Fishing Net Textile Company. *Proceedings of the 6th Brazilian Technology Symposium (BTSym'20)*, 233, 443-451.
- [41] Carvalho, H., Machado, V.H., Barroso, A., Azevedo, S.G., Cruz-Machado, V. (2018). Resilience of Logistics Service Providers Facing a Port Strike: A Case Study. *U Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung*, Indonezija, 6-8 Mart.
- [42] Ceran, Y., Alagoz, A., Ortakarpuz, M. (2013). INCOTERMS® Costs in International Marketing and Their Effects on Product Pricing. *Proceedings of 8th Annual London Business Research Conference Imperial College*, London, UK, 1-13.
- [43] CFI. (2023). Dostupno na: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/distribution-network>. [Pristupano: 11.10.2023.].
- [44] Chai, J., Ngai, E.W.T. (2020). Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. *Expert Systems With Applications*, 140, 112903.
- [45] Chen, C.C., Feng, C.M., Tsai, Y.H., Wu, P.J. (2013). Modeling Resilience Enhancement Strategies for International Express Logistics. *Transportation Research Record*, 2378, 92-98.
- [46] Choudhary, D., Shankar, R. (2013). Joint decision of procurement lot-size, supplier selection, and carrier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19(1), 16-26.
- [47] Claassen, M.F.T., van Weele, A.F., van Raaij, E.M. (2008). Performance outcomes and success factors of vendor managed inventory (VMI). *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(6), 406-414.
- [48] Clickpost (2023). Logistics Costs- How to Reduce Logistics Costs in eCommerce (100% Proven Solutions). Dostupno na: <https://www.clickpost.ai/blog/logistics-costs>. [Pristupano: 10.11.2023.].
- [49] Closser, R. (2020). Maximizing On-Time In-Full (OTIF) In The Supply Chain. Dostupno na: <https://www.fourkites.com/blogs/maximizing-on-time-in-full-otif-in-the-supply-chain>. [Pristupano: 20.10.2023.].
- [50] Çomez-Dolgan, N., Moussawi-Haidar, L., Jaber, M.Y. (2021). A buyer-vendor system with untimely delivery costs: Traditional coordination vs. VMI with consignment stock. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107009.
- [51] Cui, H., Chen, X., Guo, M., Jiao, Y., Cao, J., Qiu, J. (2023). A distribution center location optimization model based on minimizing operating costs under uncertain

- demand with logistics node capacity scalability. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 610, 128392.
- [52] Da Silva Moitinho, M., das Chagas, H.X., Matos, M.C.P., de Oliveira, R.M.N., de Souza, J.F., de Moura, V.A. (2019). The use of indicators to measure the performance of logistics services in a steel industry. White paper, 1-10.
- [53] Dai, Z., Gao, K., Giri, B.C. (2020). A hybrid heuristic algorithm for cyclic inventory-routing problem with perishable products in VMI supply chain. *Expert Systems With Applications*, 153, 113322.
- [54] Datta, S., Samantra, C., Mahapatra, S.S., Mandal, G., Majumdar, G. (2013). Appraisal and selection of third party logistics service providers in fuzzy environment. *Benchmarking International Journal*, 2013, 20, 537–548.
- [55] Davies, A., Lal, S., Perez, F., Potdar, S. (2019). Defining ‘on-time, in-full’ in the consumer sector. Dostupno na: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/defining-on-time-in-full-in-the-consumer-sector>. [Pristupano: 20.10.2023.]
- [56] Davis, J., Vogt, J. (2021a). Hidden Supply Chain Risk and Incoterms®: Analysis and Mitigation Strategies. *Journal of Risk and Financial Management*, 14, 619.
- [57] Davis, J., Vogt, J. (2021b). Incoterms® 2020 and missed opportunities for the next version. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(9), 1263-1286.
- [58] De Koster, R., Johnson, A.L., Roy, D. (2017). Warehouse design and management. *International Journal of Production Research*, 2017, 55, 6327-6330.
- [59] Del Rosal, I. (2016). Factors influencing the choice of delivery terms used in Spanish seaborne container trade. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 8(3), 318-333.
- [60] Delfmann, W., Albers, S., Gehring, M. (2002). The impact of electronic commerce on logistics service providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32, 203-222.
- [61] Delić, M., Evers, D.R. (2020). The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: An empirical analysis from the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 228, 107689.
- [62] Detwal, P.K., Soni, G., Jakhar, S.K., Srivastava, D.K., Madaan, J., Kayikci, Y. (2023). Machine learning-based technique for predicting vendor incoterm (contract) in global omnichannel pharmaceutical supply chain. *Journal of Business Research*, 158, 113688.
- [63] DHL (2022). Like clockwork: 5 ways to leverage data to improve OTIF. Dostupno na: <https://www.dhl.com/global-en/delivered/digitalization/improving-otif.html>. [Pristupano: 20.10.2023.]
- [64] Dictionary (2023). Dostupno na: <https://www.dictionary.com/browse/trade> [Pristupano: 01.08.2023.]
- [65] Diehlmann, F., Lüttenberg, M., Verdonck, L., Wiens, M., Zienau, A., Schultmann, F. (2021). Public-private collaborations in emergency logistics: A framework based on logistical and game-theoretical concepts. *Safety Science*, 141, 105301.
- [66] Dolgui, A., Ivanov, D., Sokolov, B. (2018). Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 56, 414-430.
- [67] DRG solutions (2021). What is business logistics? Dostupno na: <https://barcelona-logistica.es/en/what-is-business-logistics>. [Pristupano 15.02.2023.]
- [68] Dujmešić, N., Bajor, I., Rožić, T. (2018). Warehouse Processes Improvement by Pick by Voice Technology. *Tehnički vjesnik*, 25(4), 1227-1233.

- [69] Durdag, C., Delipinar, G.E. (2020). The past, today and future of incoterms in international delivery: A review on the innovations in logistics. *Journal of Economics Library*, 7(4), 201-207.
- [70] Durmić, E., Stević, Ž., Chatterjee, P., Vasiljević, M., Tomašević, M. (2020). Sustainable supplier selection using combined FUCOM – Rough SAW model. *Reports in Mechanical Engineering*, 1(1), 34-43.
- [71] Ecer, F., Pamucar, D. (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121981.
- [72] Edumaritime (2023). Dostupno na: <https://www.edumaritime.net/icc-academy> [Pristupano: 01.08.2023.]
- [73] Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S., Tew, J.D. (2005). Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 165(1), 182-206.
- [74] Establish (2016). Logistics Cost and Service 2015. Dostupno na: <https://static1.squarespace.com/static/57bf65a1c534a52224df643c/t/57f6a2aa6a4963b686c1bc34/1475781323323/Logistics+Cost+and+Service+2015.pdf>. [Pristupano: 15.01.2023.]
- [75] Fahmy, H. (2019). Classifying and modeling nonlinearity in commodity prices using Incoterms. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 28(8), 1019-1046.
- [76] Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65.
- [77] Firouzi, F., Jadidi, O. (2021). Multi-objective model for supplier selection and order allocation problem with fuzzy parameters. *Expert Systems with Applications*, 180, 115129.
- [78] Gheidar-Kheljani, J., Ghodsypour, S.H., Fatemi Ghomi, S.M.T. (2010). Supply chain optimization policy for a supplier selection problem: a mathematical programming approach. *Iranian Journal of Operations Research*, 2(1), 17-31.
- [79] Godsell, J., van Hoek, R. (2009). Fudging the supply chain to hit the number: five common practices that sacrifice the supply chain and what financial analysts should ask about them. *Supply Chain Management*, 14(3), 171-176.
- [80] Gong, D.C., Chen, P.S., Lu, T.Y. (2017). Multi-objective optimization of green supply chain network designs for transportation mode selection. *Scientia Iranica E*, 24(6), 3355-3370.
- [81] Govindarajan, A., Sinha, A., Uichanco, J. (2021). Joint inventory and fulfillment decisions for omnichannel retail networks. *Naval Research Logistics*, 68, 779–794.
- [82] Granillo-Macías, R. (2020). Inventory management and logistics optimization: A data mining practical approach. *Logforum*, 16(4), 5.
- [83] Grubor, A., Milićević, N. (2015). Measuring On-shelf Availability of FMCG Products. *Industrija*, 43(1), 53-71.
- [84] Grubor, A., Milićević, N., Đokić, N. (2017). The impact of store satisfaction on consumer responses in out-of-stock situations. *Revista Brasileira de Gestao de Negocios*, 19(66), 1-18.
- [85] Gurāu, C., Ranchhod, A., Hackney, R. (2001). Internet transactions and physical logistics: conflict or complementarity?. *Logistics Information Management*, 14, 33-43.
- [86] Hajdukiewicz, A., Pera, B. (2021). Factors affecting the choice of Incoterms: The case of companies operating in Poland. *International Entrepreneurship Review*, 7(4), 35-50.

- [87] Hand, R. (2021). Distribution Logistics Explained. Dostupno na: <https://www.shipbob.com/blog/distribution-logistics>. [Pristupano: 15.01.2023.]
- [88] Hasan, M.M., Jiang, D., Ullah, A.M.M.S., Noor-E-Alam, M. (2020). Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information. *Expert System with Application*, 139, 1–24.
- [89] Hassanpour, M. (2021). An investigation of five generation and regeneration industries using DEA. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(1), 19-37.
- [90] Herold, D.M., Nowicka, K., Pluta-Zaremba, A., Kummer, S. (2021). COVID-19 and the pursuit of supply chain resilience: reactions and “lessons learned” from logistics service providers (LSPs). *Supply Chain Management*, 26, 702-714.
- [91] Hien, N., Laporte, G., Roy, J. (2009). Business Environment Factors, Incoterms Selection and Export Performance. *Operations and Supply Chain Management*, 2(2), 63-78.
- [92] Hohenstein, N.O., Feisel, E., Hartmann, E., Giunipero, L. (2015). Research on the phenomenon of supply chain resilience: A systematic review and paths for further investigation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45, 90-117.
- [93] Honaman, J. (2021). How Retail/CPG Can Improve On-Time, In-Full (OTIF) Deliveries. Dostupno na: <https://aws.amazon.com/blogs/industries/how-cpgs-can-improve-on-time-in-full-otif-deliveries>. [Pristupano: 19.10.2023.]
- [94] Hosseini, S., Khaled, A.A. (2019). A hybrid ensemble and AHP approach for resilient supplier selection. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30, 207-228.
- [95] Huang, M., Li, R., Wang, X. (2011). Network construction for fourth-party logistics based on resilience with using Particle Swarm Optimization. U *Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 3924-3929.
- [96] Iyengar, D., Nilakantan, R., Rao, S. (2021). On Entrepreneurial Resilience among Micro-entrepreneurs in the Face of Economic Disruptions... A Little Help from Friends. *Journal of Business Logistics*, 42, 360-380.
- [97] Jain, N., Singh, A.R., Upadhyay, R.K. (2020). Sustainable supplier selection under attractive criteria through FIS and integrated fuzzy MCDM techniques. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6, 441-462.
- [98] Kamalahmadi, M., Parast, M.M. (2016). A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: major findings and directions for future research. *International Journal of Production Economics*, 171, 116-133.
- [99] Kanepejs, E., Kirikova, M. (2018). Centralized vs. Decentralized Procurement: A Literature Review. BIR Workshops. Dostupno na: <https://ceur-ws.org/Vol-2218/paper21.pdf>. [Pristupano: 19.02.2023.]
- [100] Kao, C. (2009). Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. *European Journal of Operational Research*, 192(3), 949-962.
- [101] Kao, C., Hwang, S-N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 418-429.
- [102] Karimi, M., Khademi-Zare, H., Zare-Mehrjerdi, Y., Fakhrzad, M.B. (2022). Optimizing Service Level, Price, and Inventory Decisions for a Supply Chain with Retailers’ Competition and Cooperation under VMI Strategy. *RAIRO-Operations Research*, 56, 1051–1078.
- [103] Karl, A.A., Micheluzzi, J., Leite, L.R., Pereira, C.R. (2018). Supply chain resilience and key performance indicators: a systematic literature review. *Production*, 28, 1-27.

- [104] Kaur, H., Singh, S.P. (2021). Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies. *International Journal of Production Economics*, 231, 107830.
- [105] Kazemitash, N., Fazlollahtabar, H., Abbaspour, M. (2021). Rough Best-Worst Method for Supplier Selection in Biofuel Companies based on green criteria. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(2), 1-12.
- [106] Keenan, M. Global Ecommerce Explained: Stats and Trends to Watch in 2022, 2022. Dostupno na: <https://www.shopify.com/enterprise/global-ecommerce-statistics>. [Pristupano: 20.12.2022.]
- [107] Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. (2021). Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MERECE). *Symmetry*, 13, 525.
- [108] Kilibarda, M., Andrejić, M., Pajić, V. (2022). Supply Chain RFID Solution Evaluation Applying AHP and FAHP Methods: A Case Study of the Serbian Market. *Technical gazette*, 29(6), 1811-1818.
- [109] Kilibarda, M., Andrejić, M., Popović, V. (2020). Research in logistics service quality: a systematic literature review. *Transport*, 35 (2), 224-235.
- [110] Kim, S.C., Shin, K.S. (2019). Negotiation Model for Optimal Replenishment Planning Considering Defects under the VMI and JIT Environment. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 35(3), 147-153.
- [111] Klumpp, M. (2018). Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 21(3), 224–242.
- [112] Kolinski, A., Sliwczynski, B. (2015). Evaluation Problem and Assessment Method of Warehouse Process Efficiency. Proceedings of The 15th International Scientific Conference Business Logistics in Modern Management, 175-188.
- [113] König, A., Spinler, S. (2016). The effect of logistics outsourcing on the supply chain vulnerability of shippers: Development of a conceptual risk management framework. *International Journal of Logistics Management*, 27, 122-141.
- [114] Kovács, G., Bóna, K. (2009). Applying a multi-criteria decision methodology in the implementation of tenders for the acquisition of the infrastructure of logistics systems. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 37(1-2), 39–44.
- [115] Kucharska, E. (2019). Dynamic Vehicle Routing Problem—Predictive and Unexpected Customer Availability. *Symmetry*, 11, 546.
- [116] Kumar, S. (2010). Logistics Routing Flexibility and Lower Freight Costs through Use of Incoterms. *Transportation Journal*, 49(3), 48-56.
- [117] Lau, K.H. (2013). Measuring distribution efficiency of a retail network through data envelopment analysis. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 598-611.
- [118] Li, R., Huang, M., Wang, X. (2015). Model and algorithm for multi-period resilient integrated forward/reverse network design of fourth-party logistics. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 35, 892-903.
- [119] Liang, L., Yang, F., Cook, W.D., Zhu, J. (2006). DEA models for supply chain efficiency evaluation. *Annals of Operations Research*, 145, 35-49.
- [120] Liu, C.L., Lee, M.Y. (2018). Integration, supply chain resilience, and service performance in third-party logistics providers. *International Journal of Logistics Management*, 29, 5-21.
- [121] Liu, Y., Shi, H., Petruzzi, N.C. (2018). Optimal quality and quantity provisions for centralized vs. decentralized distribution: Market size uncertainty effects. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 1144-1158.

- [122] Liu, Y., Yue, Z., Wang, Y., Wang, H. (2023). Logistics Distribution Vehicle Routing Problem with Time Window under Pallet 3D Loading Constraint. *Sustainability*, 15, 3594.
- [123] Lu, J., Zhang, S., Wu, J., Wei, Y. (2021). COPRAS method for multiple attribute group decision making under picture fuzzy environment and their application to green supplier selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 27(2), 369-385.
- [124] Lukić, R. (2023). Analiza performansi trgovinskih preduzeća na bazi MEREC i WASPAS metoda. *Ekonomski pogledi*, 25(1), 1-43.
- [125] Luo, H., Zhong, L., Nie, J. (2022). Quality and distribution channel selection on a hybrid platform. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102750.
- [126] Malfliet, J. (2011). Incoterms 2010 and the mode of transport: how to choose the right term. *Management Challenges in the 21st Century: Transport and Logistics: Opportunity for Slovakia in the Era of Knowledge Economy, Proceedings*, 163–179.
- [127] Malsam, W. (2022). Operational Efficiency: A Quick Guide. Dostupno na: <https://www.projectmanager.com/blog/operational-efficiency#:~:text=As%20noted%2C%20the%20formula%20for,sum%20by%20your%20total%20revenue.> [Pristupano: 11.10.2023.].
- [128] Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S., Rasini, M., Tappia, E. (2018). Business logistics models in omni-channel: a classification framework and empirical analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(4), 439-464.
- [129] Mardani, A., Zavadskas, E.K., Streimikiene, D., Jusoh, A., Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1298-1322.
- [130] Martins, R., Pereira, M.T., Ferreira, L.P., Sa, J.C., Silva, F.J.G. (2020). Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory. *Procedia Manufacturing*, 51, 1723-1729.
- [131] Masi, D., Micheli, G.J.L., Cagno, E. (2013). A meta-model for choosing a supplier selection technique within an EPC company. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19(1), 5-15.
- [132] Melacini, M., Perotti, S., Rasini, M., Tappia, E. (2018). E-fulfilment and distribution in omni-channel retailing: A systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48, 391–414.
- [133] Memari, A., Dargi, A., Jokar, M.R.A., Ahmad, R., Rahim, A.R. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 9–24.
- [134] Milewski, D. (2020). Total Costs of Centralized and Decentralized Inventory Strategies—Including External Costs. *Sustainability*, 12, 9346.
- [135] Miltikbaevich, S.A., Kizi, F.R.F. (2021). The Impact Of Incoterms 2020 Rules on the Development of International Trade. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 9(11), 581-587.
- [136] Mishra, A.R., Rani, P., Krishankumar, R., Zavadskas, E.K., Cavallaro, F., Ravichandran, K.S.A. (2021). Hesitant Fuzzy Combined Compromise Solution Framework-Based on Discrimination Measure for Ranking Sustainable Third-Party Reverse Logistic Providers. *Sustainability*, 13, 2064-2088.
- [137] Moghaddam, K.S. (2015). Supplier selection and order allocation in closed-loop supply chain systems using hybrid Monte Carlo simulation and goal programming. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6320-6338.

- [138] Mohammed, A., Yazdani, M., Oukil, A., Santibanez Gonzalez, E.D.R. (2021). A Hybrid MCDM Approach towards Resilient Sourcing. *Sustainability*, 13, 2695.
- [139] Naseem, M.H., Yang, J., Xiang, Z. (2021). Selection of Logistics Service Provider for the E-Commerce Companies in Pakistan Based on Integrated GRA-TOPSIS Approach. *Axioms*, 10, 208.
- [140] Nataraj, S., Alvarez, C., Sada, L., Juan, A.A., Panadero, J., Bayliss, C. (2020). Applying Statistical Learning Methods for Forecasting Prices and Enhancing the Probability of Success in Logistics Tenders. *Transportation Research Procedia*, 47, 529-536.
- [141] Ngah, A.H., Anuar, M.M., Rozar, N.N., Ariza-Montes, A., Araya-Castillo, L., Kim, J.J., Han, H. (2021). Online Sellers' Reuse Behaviour for Third-Party Logistics Services: An Innovative Model Development and E-Commerce. *Sustainability*, 13, 7679.
- [142] Noughabi, F.S.A., Malekmohammadi, N., Lotfi, F.H., Razavyan, S. (2022). Efficiency Decomposition in Two-Stage Network in Data Envelopment Analysis with Undesirable Intermediate Measures and Fuzzy Input and Output. *Fuzzy Information and Engineering*, 14(2), 123-142.
- [143] Novak, D.C., Wu, Z., Dooley, K.J. (2021). Whose resilience matters? Addressing issues of scale in supply chain resilience. *Journal of Business Logistics*, 42, 323-335.
- [144] Nuengphasuk, M., Samanchuen, T. (2019). Selection of logistics service provider for e-commerce using AHP and TOPSIS: A case study of SMEs in Thailand. *U Proceedings of the 2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON)*, Bangkok, Tajland, 11–13 Decembar, 1–5.
- [145] Oktafiana, A., Rahmadani, D.D., Aprilia, E.A., Laras, Y.V.S. (2022). Analysis of Incoterms Selection and Involvement of 3PL in Export Import Logistics Activities. *Asian Economic and Business Development*, 4(1), 83-90.
- [146] Pajić, V., Andrejić M., Kilibarda, M. (2021). Evaluation and selection of KPI in procurement and distribution logistics using SWARA-QFD approach. *International Journal For Traffic And Transport Engineering (IJTTE)*, 11(2), 267-279.
- [147] Pajić, V., Andrejić, M., Kilibarda, M. (2022). Procurement Optimization by Selecting Efficient Suppliers using DEA-FUCOM-CoCoSo Approach and Solving Order Allocation Problem. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 1-18.
- [148] Pajić, V., Kilibarda, M., Andrejić, M. (2023). A Novel Hybrid Approach for Evaluation of Resilient 4PL Provider for E-Commerce. *Mathematics*, 11, 511.
- [149] Pamučar, D., Čirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- [150] Pamučar, D., Ecer, F. (2020). Prioritizing The Weights Of The Evaluation Criteria Under Fuzziness: The Fuzzy Full Consistency Method – Fucom-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18, 419-437.
- [151] Pamučar, D., Stević, Ž., Sremac, S. (2018). A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 393-415.
- [152] Pan, F. (2015). The optimization model of the vendor selection for the joint procurement from a total cost of ownership perspective. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 8(4), 1251-1269.
- [153] Panayides, P.M., So, M. (2005). Logistics service provider–client relationships. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41, 179-200.

- [154] Park, Y.W., Blackhurst, J., Paul, C., Scheibe, K.P. (2022). An analysis of the ripple effect for disruptions occurring in circular flows of a supply chain network. *International Journal of Production Research*, 60, 4693-4711.
- [155] Peng, X., Huang, H. (2020). Fuzzy decision-making method based on CoCoSo with critic for financial risk evaluation. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), 695-724.
- [156] Pishvae, M.S., Basri, H., Sajadeih, M.S. (2007). Supply Chain and Logistics in National, International and Governmental Environment. Concepts and Models, Poglavlje knjige: *Supply Chain and Logistics in National, International and Governmental Environment*, Springer, 57-83
- [157] Pourhejazy, P., Kwon, O.K., Chang, Y.-T., Park, H. (2017). Evaluating Resiliency of Supply Chain Network: A Data Envelopment Analysis Approach. *Sustainability*, 9, 255.
- [158] Pramanik, D., Haldar, A., Mondal, S.C., Naskar, S.K., Ray, A. (2017). Resilient supplier selection using AHPTOPSIS-QFD under a fuzzy environment. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 12, 45–54.
- [159] Prasetyawan, Y., Ibrahim, N.G. (2020). Warehouse Improvement Evaluation using Lean Warehousing Approach and Linear Programming. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847, 012033.
- [160] Raj, P.V.R.P., Jauhar, S.K., Ramkumar, M., Pratap, S. (2022). Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108038.
- [161] Ralston, P., Blackhurst, J. (2020). Industry 4.0 and resilience in the supply chain: a driver of capability enhancement or capability loss? *International Journal of Production Research*, 58, 5006-5019.
- [162] Rejeb, A., Süle, E., Keogh, J., G. (2018). Exploring new technologies in procurement. *Transport & Logistics: the International Journal*, 18(45), 76-86.
- [163] Ren, X., Jiang, X., Ren, L., Meng, L. (2023). A multi-center joint distribution optimization model considering carbon emissions and customer satisfaction. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 20(1), 683-706.
- [164] Rezaei, A., Galankashi, M.R., Mansoorzadeh, S., Rafiei, F.M. (2020). Supplier Selection and Order Allocation with Lean Manufacturing Criteria: An Integrated MCDM and Bi-objective Modelling Approach. *Engineering Management Journal*, 32(4), 253-271.
- [165] Rosyidi, C.N., Murtisari, R., Jauhari, W.A. (2017). A Concurrent optimization model for supplier selection with Fuzzy Quality Loss. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(1), 98-110.
- [166] Sałabun, W., Urbaniak, K. (2020). A new coefficient of rankings similarity in decision-making problems. U *Proceedings of International Conference on Computational Science 3 Jun*, Springer: Cham, Švajcarska, 632–645.
- [167] Sanchez, N.Y.E., Santos, P.Y.S., Lastra, G.E.M., Flores, J.C.Q., Merino, J.C.A. (2021). Implementation of Lean and Logistics Principles to Reduce Non-conformities of a Warehouse in the Metalworking Industry. 10th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM).
- [168] Sari, K. (2008). On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study. *International Journal of Production Economics*, 113, 575–586.
- [169] Schmidt, G., Wilhelm, W.E. (2000). Strategic, tactical and operational decisions in multi-national logistics networks: A review and discussion of modelling issues. *International Journal of Production Research*, 38(7), 1501-1523.

- [170] Schramm, V.B., Cabral, L.P.B., Schramm, F. (2020). Approaches for supporting sustainable supplier selection - A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123089.
- [171] Sehgal, S., Sahay, B.S., Goyal, S.K. (2006). Reengineering the supply chain in a paint company. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55(8), 655-670.
- [172] Serbest, G.N., Vayvay, O. (2008). Selection of the most suitable distribution channel using fuzzy Analytic Hierarchy Process in Turkey. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 4(5), 487-505.
- [173] Sheffi, Y., Rice Jr., J.B. (2005). A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 47, 41-48.
- [174] Shi, Y., Arthanari, T., Wood, L.C. (2016c). An empirical study of third-party purchase: New Zealand users' perspective. *Applied Economics*, 48(56), 5448-5461.
- [175] Shi, Y., Arthanari, T.S., Wood, L.C. (2017). Developing third-party purchase (3PP) services: New Zealand third-party logistics providers' perspectives. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(1), 40-57.
- [176] Shi, Y., Zhang, A., Arthanari, T., Liu, Y. (2016a). Third-party purchase: an empirical study of Chinese third-party logistics users. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(3), 286-307.
- [177] Shi, Y., Zhang, A., Arthanari, T., Liu, Y., Cheng, T.C.E. (2016b). Third-party purchase: An empirical study of third-party logistics providers in China. *International Journal of Production Economics*, 171, 189-200.
- [178] Shoja, A., Molla-Alizadeh-Zavardehi, S., Niroomand, S. (2019). Adaptive meta-heuristic algorithms for flexible supply chain network design problem with different delivery modes. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 106107.
- [179] Singh, C.S., Soni, G., Badhotiya, G.K. (2019). Performance indicators for supply chain resilience: review and conceptual framework. *Journal of Industrial Engineering International*, 15, 105-117.
- [180] Singha, K., Parthanadee, P., Buddhakulsomsiri, J. (2015). A Comparison of Inventory Management between Decentralized and Centralized Distribution Networks with Backorder. *Industrial Engineering, Management Science and Applications*, 485-490.
- [181] Siregar, H., Suroso, A.I., Siregar, H., Djohar, S. (2022). Enhancing Operational Performance of Indonesia Pine Chemical Industry Through Delivery Improvement. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(6), 1923-1929.
- [182] Soga, H. (2021). An Exploratory Analysis of the Factors Affecting Incoterms Selection from the Perspective of Firm Characteristics. *International Journal of Japan Association for Management Systems*, 13(1), 9-14.
- [183] Staff, L.M. (2018). 29th Annual State of Logistics Report: Carriers take the wheel. Dostupno na: https://www.logisticsmgmt.com/article/29th_annual_state_of_logistics_report_carriers_take_the_wheel [Pristupano: 15.12.2022.]
- [184] Stapleton, D.M., Pande, V., O'Brien, D. (2014). EXW, FOB or FCA? Choosing the Right Incoterm and Why it Matters to Maritime Shippers. *Journal of Transportation Law, Logistics and Policy*, 81(3), 227-248.
- [185] Statista (2022a). Amazon's average click-to-door speed in the United States from December 2015 to March 2018. Dostupno na: <https://www.statista.com/statistics/957782/parcel-carriers-on-time-delivery-rate-peak-season>. [Pristupano: 19.10.2023.]

- [186] Statista (2022b). Key performance indicators used to monitor supply chain in 2017. Dostupno na: <https://www.statista.com/statistics/829699/kpis-used-supply-chain>. [Pristupano: 20.10.2023.].
- [187] Stock, J.R., Mulki, J.P. (2009). Product Returns Processing: An Examination of Practices of Manufacturers, Wholesalers/Distributors, and Retailers. *Journal of Business Logistics*, 30, 33–62.
- [188] Stojanović, Đ., Ivetić, J. (2020a). Possibilities of using Incoterms clauses in a country logistics performance assessment and benchmarking. *Transport Policy*, 98, 217-228.
- [189] Stojanović, Đ., Veličković, M., Ivetić, J. (2018). Incoterms Clauses in Trade Between Serbia and the Neighbouring Countries. 14. *International Scientific Conference on Service Sector INSCOSES*, 23, 639-650.
- [190] Stojanović, Đ.M., Ivetić, J. (2020b). Macrologistic performance and logistics commitments in sales contracts in international supply chains. *The International Journal of Logistics Management*, 31(1), 59-76.
- [191] Sugiono, A., Rahayu, A., Wibowo, L.A. (2022). Environmental Uncertainty Factor, Incoterm and Implication for a Strategic Alliance in Freight Forwarder Companies Case Study in Indonesia. *Asian Journal of Logistics Management*, 1(1), 1-15.
- [192] Suraraksa, J., Amchang, C., Sawatwong, N. (2020). Decision-Making on Incoterms 2020 of Automotive Parts Manufacturers in Thailand. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(10), 461–470.
- [193] Sureeyatanapas, P., Waleekhajornlert, N., Arunyanart, S., Niyamosoth, T. (2020). Resilient Supplier Selection in Electronic Components Procurement: An Integration of Evidence Theory and Rule-Based Transformation into TOPSIS to Tackle Uncertain and Incomplete Information. *Symmetry*, 12, 1109.
- [194] Taghizadeh, H., Ershadi, M. (2013). Supplier's Selection in Supply Chain with Combined QFD and ANP Approaches. *Research Journal of Recent Sciences*, 2(6), 66-76.
- [195] Taleizadeh, A.A., Ghavamifar, A., Khosrojerdi, A. (2020). Resilient network design of two supply chains under price competition: Game theoretic and decomposition algorithm approach. *Operations Research*, 4, 1–33.
- [196] Thomas, A.J., Francis, M., Fisher, R., Byard, P. (2016). Implementing Lean Six Sigma to overcome the production challenges in an aerospace company. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 27(7-8), 591-603.
- [197] Tirkolaee, E.B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., Weber, G.W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119517.
- [198] Tiwari, A., Vats, A.K. (2021). Analyzing The Concept Of Graded K-Preference Integration Representation Method. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12, 866-869.
- [199] Triantaphyllou, E., Sánchez, A. (1997). A Sensitivity Analysis Approach For Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods. *Decision Sciences*, 28(1), 151-194.
- [200] Tus, A., Adali, E.A. (2019). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *OPSEARCH*, 56, 528-538.
- [201] Tuzkaya, U.R., Onut, S. (2008). A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study. *Information Sciences*, 178(15), 3133-3146.

- [202] Ulutas, A., Karakus, C.B., Topal, A. (2020). Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 38(1), 1-17.
- [203] Um, J., Han, N. (2020). Understanding the relationships between global supply chain risk and supply chain resilience: The role of mitigating strategies. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26, 240–255.
- [204] Unal, T.D., Metin, I. (2021). Do the factors affecting incoterms® selection differ for exporters and importers? A fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) application. *LogForum*, 17(2), 299-309.
- [205] Vagstad, S. (2000). Centralized vs. decentralized procurement: Does dispersed information call for decentralized decision-making? *International Journal of Industrial Organization*, 18(6), 949-963.
- [206] Vasić N., Kilibarda, M., Andrejić M., Jović, S. (2020). Satisfaction is a function of users of logistics services in e-commerce. *Technology Analysis and Strategic Management*, 33, 813-828.
- [207] Vasquez-Quispe, M., Calcina-Flores, A., Quiroz-Flores, J.C., Collao-Diaz, M. (2023). Implementing Lean Warehousing model to increase on time and in full of an SME commercial company: A research in Perú. Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Engineering and Applications, 60-65.
- [208] Vukasović, D., Gligović, D., Terzić, S., Stević, Ž., Macura, P. (2021). A novel fuzzy MCDM model for inventory management in order to increase business efficiency. *Technological and Economic Development of Economy*, 27(2), 386-401.
- [209] Wang, C.N., Dang, T.T., Nguyen, N.-A. (2021). Outsourcing reverse logistics for e-commerce retailers: A two-stage fuzzy optimization approach. *Axioms*, 10, 34.
- [210] Wang, M., Jie, F., Abareshi, A. (2015). Business Logistics Performance Measurement in Third-Party Logistics: An Empirical Analysis of Australian Courier Firms. *International Journal of Business & Information*, 10(3), 323-336.
- [211] Wang, Q., Wu, Z., Chen, X. (2019). Decomposition weights and overall efficiency in a two-stage DEA model with shared resources. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 135-148.
- [212] Wanke, P.F., Zinn, W. (2004). Strategic logistics decision making. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(6), 466-478.
- [213] Waredock (2023). Logistics Costs Explained. Dostupno na: <https://www.waredock.com/magazine/logistics-costs-explained/#:~:text=According%20to%20McKinsey%20analysis%2C%20logistics,venues%20in%20the%20near%20future>. [Pristupano: 10.11.2023.].
- [214] Wen, Z., Liao, H., Zavadskas, E.K., Al-Barakati, A. (2019). Selection third-party logistics service providers in supply chain finance by a hesitant fuzzy linguistic combined compromise solution method. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, 32(1), 4033-4058.
- [215] White, G.R.T., Afolayan, A., Plant, E. (2014). Challenges to the Adoption of E-commerce Technology for Supply Chain Management in a Developing Economy: A Focus on Nigerian SMEs. U: Lacka, E., Chan, H., Yip, N. (eds) E-commerce Platform Acceptance. Springer, Cham, 23-39.
- [216] Wieland, A., Durach, C.F. (2021). Two perspectives on supply chain resilience. *Journal of Business Logistics*, 42, 315-322.
- [217] Wilson, E.J., Nielson, C.C. (2001). Cooperation and Continuity in Strategic Business Relationships. *Journal of Business-to-Business Marketing*, 8, 1-24.

- [218] Wilson, G. (2020). How COVID-19 has transformed the logistics and 3PL industry. Supply Chain. Dostupno na: www.supplychaindigital.com/logistics/how-covid-19-has-transformed-logistics-and-3pl-industry. [Pristupano: 05.12.2022.]
- [219] Wu, C., Lin, Y., Barnes, D. (2021). An integrated decision-making approach for sustainable supplier selection in the chemical industry. *Expert Systems with Applications*, 184, 115553.
- [220] Xin, Y., Zheng, K., Zhou, Y., Han, Y., Tadikamalla, P.R., Fan, Q. (2022). Logistics Efficiency under Carbon Constraints Based on a Super SBM Model with Undesirable Output: Empirical Evidence from China's Logistics Industry. *Sustainability*, 14, 5142.
- [221] Xu, Y., Chong, H.Y., Chi, M. (2021). A Review of Smart Contracts Applications in Various Industries: A Procurement Perspective. *Advances in Civil Engineering*, 5530755.
- [222] Yaakub, S., Szu, L.Y. (2017). Factors Influencing the Choice of Incoterms Among Malaysian Manufacturers. *E-Proceeding of The 6th International Conference on Social Sciences Research*, 1-11.
- [223] Yaakub, S., Szu, L.Y., Arbak, S., Ab Halim, N. (2018). INCOTERMS Selection Factors and Its Effect on Export Performance. *Journal of Advanced Research in Business, Marketing, and Supply Chain Management*, 2(1), 9-18.
- [224] Yang, J.B. (2001). Rule and utility based evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 131, 31–61.
- [225] Yang, J.H. (2021). A Study on the Reasonable Choice and Utilization of Incoterms 2020 Rules from the Perspective of Logistics and Supply Chain Management. *Journal of Korea Trade*, 25(1), 152-168.
- [226] Yang, S., Yanqing, W., Songtao, Z. (2010). The study of logistics partner selection under the 4PL model. U *Proceedings of the Inter-national Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM)*, 954-959.
- [227] Yazdani, M., Chatterjee, P., Pamucar, D., Chakraborty, S. (2020). Development of an integrated decision-making model for location selection of logistics centers in the Spanish autonomous communities. *Expert Systems with Applications*, 148, 1-21.
- [228] Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., Turskis, Z. (2018). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519.
- [229] Yazdi, A.K., Mehdiabadi, A., Wanke, P.F., Monajemzadeh, N., Correa, H.L., Tan, Y. (2022). Developing supply chain resilience: a robust multi-criteria decision analysis method for transportation service provider selection under uncertainty. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 1-14.
- [230] Zennaro, I., Finco, S., Calzavara, M., Persona, A. (2022). Implementing E-Commerce from Logistic Perspective: Literature Review and Methodological Framework. *Sustainability*, 14, 911.
- [231] Zhang, G., Wang, X., Wang, Y., Kang, J. (2022c). Research on the Resilient Evolutionary Game of Logistics Service Supply Chain with Government Participation. *Mathematics*, 10, 630.
- [232] Zhang, Y., Gao, Z., Huang, M., Jiang, S., Yin, M., Fang, S.C. (2022b). Multi-period distribution network design with boundedly rational customers for the service-oriented manufacturing supply chain: a 4PL perspective. *International Journal of Production Research*.
- [233] Zhang, Y., Wu, T., Ding, X. (2022a). Optimization Method of Knapsack Problem Based on BPSO-SA in Logistics Distribution. *Journal of Information Processing Systems*, 18(5), 665-676.

- [234] Zhang, Y., Yuan, C., Wu, J. (2020). Vehicle Routing Optimization of Instant Distribution Routing Based on Customer Satisfaction. *Information*, 11, 36.
- [235] Zhao, K., Zuo, Z., Blackhurst, J. (2019). Modelling supply chain adaptation for disruptions: An empirically grounded complex adaptive systems approach. *Journal of Operations Management*, 65, 190-212.
- [236] Zhong, J., Hu, X., Alghamdi, O.A., Elattar, S., Al Sulaie, S. (2023). XGBoost with Q-learning for complex data processing in business logistics management. *Information Processing and Management*, 60, 103466.
- [237] Zipline logistics (2022). Shipping to Amazon: Everything Sellers Should Know. Dostupno na: <https://zipline.logistics.com/blog/shipping-to-amazon>. [Pristupano: 20.10.2023.].
- [238] Živičnjak, M., Rogić, K., Bajor, I. (2022). Case-study analysis of warehouse process optimization. *Transportation Research Procedia*, 64, 215-223.

BIOGRAFIJA AUTORA

Vukašin Pajić rođen je u Negotinu 11.12.1994. godine. Osnovnu i srednju školu završio je u Negotinu. Osnovne studije na Saobraćajnom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, upisao je 2013. godine. Diplomirao je 2017. godine sa prosečnom ocenom 8,74 i završnim radom „Intermodalne transportne jedinice – stanje i trendovi“. Iste godine upisao je Master akademske studije na Saobraćajnom fakultetu koje je završio 2018. godine sa prosečnom ocenom 9,86 i master radom na temu „Unapređenje logističkih procesa na primeru kompanije “Cargo partner“. Od februara 2018. godine zaposlen je na Saobraćajnom fakultetu kao saradnik u nastavi. Školske 2018/19. godine upisao je Doktorske akademske studije na Saobraćajnom fakultetu. Kandidat je položio sve ispite predviđene nastavnim planom i programom doktorskih studija sa prosečnom ocenom 10. Član je organizacionog odbora međunarodne logističke konferencije "LOGIC".

Angažovan je kao asistent za užu naučnu oblast Poslovna logistika i špedicija od februara 2019. godine, gde drži vežbe iz četiri predmeta osnovnih akademskih studija i to: Upravljanje kvalitetom u logistici, Marketing u logistici, Špedicija i agencijsko poslovanje i Praktikum iz špedicije. Takođe, drži vežbe iz tri predmeta na master akademskim studijama i to: Poslovna logistika, Logistički provajderi i Upravljanje ljudskim resursima u logistici. Na osnovu uvida u dosadašnji naučno-istraživački i nastavni rad kandidata, može se zaključiti da pokazuje posebno interesovanje za oblasti: špedicija, međunarodna i poslovna logistika, logistički provajderi, marketing i upravljanje kvalitetom u logistici. Engleski jezik poznaje na naprednom nivou.

Do sada je učestvovao u više od 85 komisija za odbranu završnih radova na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Kao autor ili koautor učestvovao je u izradi dva udžbenika i preko 40 naučnih i stručnih radova, od kojih je šest objavljeno u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M21a, M21, M22 i M23), a 22 saopšteno na skupovima međunarodnog značaja.

IZJAVA O AUTORSTVU

Ime i prezime autora Vukašin Pajić

Broj indeksa DS18D011

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

MODELI ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU NA PODRUČJU POSLOVNE LOGISTIKE

- 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 autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu,

Potpis autora

IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA

Ime i prezime autora Vukašin Pajić
Broj indeksa DS18D011
Studijski program Saobraćaj
Naslov rada MODELI ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU NA PODRUČJU
POSLOVNE LOGISTIKE
Mentor dr Milorad Kilibarda, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao 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.

U Beogradu,

Potpis autora

IZJAVA O KORIŠĆENJU

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

MODELI ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU NA PODRUČJU POSLOVNE LOGISTIKE

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao 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.

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 prerada (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).

U Beogradu,

Potpis autora

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.