Primjena matematičkih metoda u odabiru lokacije robno- transportnog centra na području RH

Galić, Marinela

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:222310

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Galić Marinela

PRIMJENA MATEMATIČKIH METODAU ODABIRU LOKACIJE ROBNO- TRANSPORTNOG CENTRA NA PODRUČJU RH

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

PRIMJENA MATEMATIČKIH METODA U ODABIRU LOKACIJE ROBNO- TRANSPORTNOG CENTRA NA PODRUČJU RH

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS IN SELECTION OF TRANSPORT CENTER LOCATION- CASE STUDY THE REPUBLIC OF CROATIA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Tomislav Rožić

Student: Marinela Galić

JMBAG: 0058191534

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

Robno transportni centar je suvremeni kompleks transportnih terminala zatvorenih i otvorenih specijaliziranih i univerzalnih skladišta koji su smješteni u blizini velikih industrijskih centara, velikih prometnih čvorišta, velikih morskih luka i velikih ranžirnih kolodvora.Oni predstavljaju točke optimalne raspodjele unutar transportnog lanca.

U ovome radu definira se pojam robno transportnog centra, kriteriji i čimbenici koje je potrebno zadovoljiti kako bi se odredila optimalna lokacija za smještaj centra. Opisani su robno transportni centri u Bremenu i Veroni teje opisan njihov utjecaj na uže išire gravitacijsko područje.

Prikazane su i detaljno opisane matematičke metode koje se koriste u odabiru optimalne lokacije.Od skupine kvantitativnih metoda odabrane su dvije, metoda centra gravitacije i metoda medijana. Opisan je njihov tok izvođenja, te objašnjen na jednostavnom primjeru.

Opisane su metode višekriterijskog odlučivanja, AHP, Electre i Promethee.Sve tri metode temelje se na usporedbi zadanih kriterija i alternativa, no sam tok izvođenja je različit za svaku. Prikazana je primjena svake od metoda na jednostavnom primjeru.

KLJUČNE RIJEČI

Robno transportni centri; robni tokovi; AHP metoda, Electre metoda; gravitacijske zone; Promethee metoda; kvantitativne metode.

ABSTRACT

Logistics center is a modern complex of transport terminals, closed and opened specialized and universal storage facilities that are located near major industrial centers, transport hubs, large sea ports and large marshaling yards. They represent the point of optimal allocation within the transport chain.

This paper defines the concept of logistics centers, the criteria and the factors that must be satisfied in order to determine optimal locations for the center. It also describes the logistics centers in Bremen and Venlo and they affect on the immediate and wider gravitation area.

This paper also shows and describes in detail the mathematical methods used in the selection of an optimal location. From the group of the quantitative methods, two have been chosen: the center of gravity method and the median method. The course of their execution has been described and explained on a simple example.

The methods of multi-criteria decision-making, AHP, Electre and Promethee are described. All of the three methods are based on a comparison of set criteria and alternatives, but the course of the execution is different for each one of them. It has been shown the application of each method on a simple example.

KEY WORDS

Logistics center; good flows; AHP method; Electra Method; gravitational zone; Promethee method; quantitative methods.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. PROBLEM LOKACIJE ROBNO TRANSPORTNIH CENTARA 3
2.1. Čimbenici izbora lokacije robnog terminala 4
2.2. Područje gravitacijskih zona robnog terminala 6
2.3. Kriteriji za izbor lokacije robnog terminala 8
2.4. Primjeri robno transportnih centara u Europi 9
2.4.1. RTC Bremen 9
2.4.2. Smart Logistics Center Venlo 11
3. MATEMATIČKE METODE ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE ROBNO TRANSPORTNOG CENTRA 14
3.1. Kvantitativne metode za određivanje optimalne lokacije robno transportnog centra 14
3.1.1. Metoda centra gravitacije 14
3.1.2. Metoda medijana 17
3.2. Metode za višekriterijsko odlučivanje 19
3.2.1. AHP (Analitical Hierarchy Process) metoda 20
3.2.2. Metoda Electre 27
3.2.3. Promethee metoda 30
4. PRIMJENA MATEMATIČKIH METODA U ODABIRU OPTIMALNE LOKACIJE NA PODRUČJU RH 37
4.1. Primjena kvantitativnih metoda 37
4.1.1. Primjena metode centra gravitacije 37
4.1.2. Primjena metode medijana 39
3.3. Primjena metoda za višekriterijsko odlučivanje 41
4.2.1. Primjena AHP metode 41
4.2.2. Primjena Electre metode 50
4.2.3. Primjena Promethee metode 55
5. USPOREDBA REZULTATA MATEMATIČKIH METODA 66
6. ZAKLJUČAK 68
LITERATURA 70
POPIS SLIKA 72
POPIS GRAFIKONA 72
POPIS TABLICA 72

1. UVOD

U procesu strujanja materijalnih i nematerijalnih dobara između proizvođača i krajnjeg potrošača, postoji zamršen odnos distribucije, distribucije kanala, fizičke distribucije, logističke distribucije, logistike i transporta. Kako bi se racionalizirali procesi nabave, proizvodnje, distribucije i prodaje, koji se neprestano odvijaju unutar robnih tokova, te se naposljetku zadovoljile potrebe korisnika, potrebno je utvrditi točke optimalne raspodjele rada prometa.[1]Kao takve točke najbolje odgovaraju robno transportni centri i njihova međusobna povezanost. Korištenjem zajedničkih postrojenja i infrastrukture, te suradnjom podsustava unutar robno transportnih centara, korisnicima se pružaju logističke usluge, a kvaliteta tih usluga kao i ukupni troškovi transportnih i logističkih sustava uvelike ovise i o njihovoj lokaciji.

U ovom radu ispitati će se pomoću matematičkih metoda koja lokacija na području RH zadovoljava postavljene kriterije te pruža optimalnu lokaciju za izgradnju robno transportnog centra koji bi imao za primarni cilj odrađivanje logističkih aktivnosti i procesa.

Nakon uvoda slijedi drugo poglavlje u kojem se definira sam problem lokacije robno transportnog centra, njegov razvoj te utvrđivanje lokacije centra na jednom ili više potencijalnih mjesta. Navode se tri glavna čimbenika izbora lokacije terminala te njihov detaljan pregled. Gravitacijske zone kao područja sa kojih se pokreću robno transportni tokovi i prolaze kroz terminal, iznimno su bitni za odabir lokacije. Postoje niz kriterija koje je potrebno zadovoljiti prilikom izbora lokacije, a u radu su nabrojani najvažniji.Na kraju drugog poglavlja, opisana u dva robno transportna centra, koji pripadaju u najznačajnije logističke centre u Europi, a to su GVZ Bremen u Njemačkoj i SLD Venlo u Nizozemskoj.

U trećem poglavlju opisane su matematičke metode koje će se koristiti za određivanje lokacije robno transportnog centra na području RH. U radu su opisane dvije kvanitativne metode,metoda centra gravitacijete medijan metoda. Prva metoda jednostavna je i česta u upotrebi, te se temelji na pronalasku koordinata optimalnog područja, a gdje će troškovi transporta biti minimalni. Metoda medijana se isto tako često upotrebljava, a temelji se na kumulativnoj težinii minimalnim transportnim troškovima.

[1]Zelenika, R: Logistički sustavi, Rijeka, 2005. Str 37

Opisane su i metode za odabir optimalne lokacije koje su potpora višekriterijskom odlučivanju.U području prometa najčešće se koriste metode Ahp, Electre, Promethee i Doctus, dok su u radu detaljnije proučene Ahp, Electre i Promethee metode.Prikazan je primjer studije slučaja Balkanskog poluotoka u odabiru lokacije logističkog centra, u kojoj se koristilo više metoda, medija metoda i E-S-P paradigma, čiji rezultati su se naposljetku koristili za višekriterijsko odlučivanje u AHP metodi.

U četvrtom poglavlju provodi se implementacija svih metoda. Unaprijed su definirani gradovi na području RH, koji će se u nastavku nazivati alternativama, te pet kriterija koji će se ocjenjivati. Kriteriji su identični za svih pet metoda, a opisni broj svakog kriterija za svaku pojedinu alternative temelji se na broju stanovnika, robnom prometu u TEU-ima iz luke Rijeke prema svakoj alternative te udaljenosti od luke Rijeke. Grad Rijeka nije uzet u analizu jer ima zadovoljavajući robni prometi u mogućnosti je opskrbiti uže šire područje. U analizu isto tako nije uključen grad Zagreb, s obzirom da je zagrebačko tržište najrazvijenije, te je pretpostavka da bi se on pokazao kao optimalno rješenje. Ideja je rasteretiti područje grada Zagreba, te započeti gospodarski i ekonomski razvitak ostatka RH.

U petom poglavlju slijedi usporedba rezultata dobivenih u četvrtom poglavlju.Kvantitativne metode unatoč razlikama u samom izračunu, prikazuju vrlo sličan rezultat.Idealno područje za izgradnju robno transportnog centra bilo bi u okolici Osijeka.Prema metodama višekriterijskog odlučivanja, tri alternative nude kao optimalno rješenje tri lokacije.Prema Ahprješenje je Split, prema Electre metodioptimalna lokacija je Slavonski Brod, dok je prema Promethee Osijek.

Pri izradi rada korištena je stručna literatura, radovi te materijali preuzeti sa internetskih stranica.

2. PROBLEM LOKACIJE ROBNO TRANSPORTNIH CENTARA

Razvojem poduzetništva počelo se širiti tržište, potrebe kupaca bile su sve veće, a samim time rasla je i potreba za većim područjima gdje će se vršiti proizvodnja, na kojima se izgrađuje odgovarajuća infrastruktura dobro povezana sa unutrašnjošću[2]. Kretanje robe od izvora sirovina do pogona za obradu, pogona za proizvodnju dijelova, pogona za završnu montažu, logističkih centara, skladišta, trgovaca i kupaca odvija se na sve većem geografskom području, te su pojedini dijelovi opskrbnog lanca izrazito udaljeni, stoga se logistika sve više razvija.

Kao bitan dio transportnog i logističkog sustava, razvija se robno transportni centar[3],suvremeni kompleks specijaliziranih i univerzalnih transportnih terminala zatvorenih i otvorenih specijaliziranih i univerzalnih skladišta koji su locirani u blizini velikih industrijskih centara, velikih prometnih čvorišta, velikih morskih luka i velikih ranžirnih kolodvora[4].

Kako bi opskrbni lanac kao ključan čimbenik uspješnost poslovanja poduzeća i njegovog konkurentnog djelovanja na tržištu bio učinkovit, potrebno je izabrati adekvatnu lokaciju RTC-a[5].Prilikom svake poslovne odluke cilj je uz što manje troškove ostvariti što veći profit, stoga se i odabirom lokacije robnog terminala, traži ona lokacija koja će pružati najniže transportne troškove i najveću poslovnu učinkovitost. Prednost optimalne lokacije uz redukciju troškova su i poboljšanje poslovnih aktivnosti te povećanje konkurentnosti i profitabilnosti[6].

Prilikom izbora lokacije RTC-a, provodi se postupak izbora potencijalnih rješenja. Takva rješenja označavaju utvrđivanje lokacije jednog ili više logističkih centara na jednom ili više

---

[2]Kesić B., Jugović A.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko- distribucijskog centra u riječkoj regiji, Pomorski zbornik, Rijeka, 2003.

[3]u nastavku RTC

[4]Kesić B., Jugović A.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko- distribucijskog centra u riječkoj regiji, Pomorski zbornik, Rijeka, 2003.

[5]Chan, F.T.S., Kumar N., Choy K.L.: Decision- making approach for the distribution centre location problem in a supply chain network using fuzzy- based hierarhical concept, Proceedings of The Institution 725- 739. of Mechanical Engineers Part B- Journal of Engineering Manufacture April 1., 2007. Vol. 221, No. 4

[6]Thay V.V., Grewal D.: Selecting the location of distributon centre in logistics operation a conceptual framework and case study, Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, 2005. Vol. 17, No. 3.

potencijalnih mjesta. Lokacija RTC-a predstavlja jednu od najvažnijih odluka u optimizaciji transportnih i logističkih sustava. Potrebno je zadovoljiti brojne kriterije kako bi se donijela takva strateška odluka, jer ispraviti pogrešnu poslovnu odluku iznimno je teško, ako ne i nemoguće.

2.1. Čimbenici izbora lokacije robnog terminala

Prilikom odabira lokacije robnog terminala, potrebno je razmotriti brojne čimbenike, a jedna od podjela je na sljedeće tri skupine[7]:

1. Obilježja zahtjeva logističkih tokova
2. Obilježja robno transportnih centara
3. Obilježja lokacije i okruženja

Obilježja zahtjeva logističkih tokova potrebno je razmatrati temeljem strukture i obilježja samih korisnika te tokova koje generiraju, zatim temeljem zahtjeva određenih tehnologija u sklopu transportnih lanaca koje se usmjerava u pravcu terminala, kao i strategije logistike koja je primijenjena.Na privlačenje terminala i logističkih tokova utječu korisnici koji ostvaruju veliki promet i posjeduju učinkovitu prometnu povezanost. Broj korisnika na nekom području ima izniman utjecaj na odluku o gradnji robnog terminala.

Obilježja robno transportnog centra poput strukture centra, pripadnost logističkoj mreži ali i razne prostorne, tehnološke i financijske izvedbe centra utječu na odabir lokacije. Na makro-mikro lokacijske probleme utječe specifična pripadnost mreži logistike, iako je uloga terminala u logističkoj mreži na prvom mjestu makrolokacijski problem.

Obilježja lokacije i okruženja

- **Tehnološko-prostorne izvedbe** u sklopu sustava terminala posljedica su aktivnosti projektiranja te redovito predstavljaju uvjet za odabir smještaja područja.
- **Organizacijsko vlasničke izvedbe** formiraju stupanj pripadnosti te tako približavaju centar korisnicima.
- **Financijske izvedbe** utječu na odlučivanje vezano za opravdanje i financijsku mogućnost izvedbe aktiviranja pojedinog područja namijenjenog za gradnju centra – logističkog centra. Cijena aktiviranja pojedinog područja u funkciji rada centra odnosno terminala te isto tako opravdanost sa aspekta ekonomije ulaganja predstavljaju važne čimbenike vezane za donošenje odluke o odabiru područja.

[7]Mlinarić T.J.: Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

- **Prostorno-urbanistički planovi** odnose se na definirana moguća područja, svrhu odnosno namjenu površina te uvjete aktivacije područja u svrhu potreba terminala.
- **Geografsko-prostorna obilježja** određenog područja prvenstveno definiraju tržište te isto tako robne tokove unutar tržišta, a određuju i broj, veličinu te smještaj područja logističkih centara.
- **Infrastrukturna i geološka obilježja** područja odnose se na mikrolokacijske čimbenike koji pružaju mogućnost, sprječavaju ili isto tako u raznovrsnim varijantama pružaju prednost pojedinom području. Mana infrastrukturne mreže na određenom području može predstavljati ograničenje u procesu realizacije raznovrsnih procesa, ali se isto tako odgovarajućim financijskim sredstvima može adaptirati zahtjevima razvitka centra odnosno terminala.
- **Prometno-logistička obilježja** područja vrlo često utječu na odabir područja centra. Robno transportni centri imaju raznovrsne zahtjeve koji se prvenstveno odnose na povoljan položaj te priključenje na prometnu mrežu odnosno koridore transporta. Razmatrajući sa stajališta makrolokacije, robno-transportni centar u sklopu transportnog koridora posjeduje prioritet razvitka.
- **Klimatsko-ekološki uvjeti i standardi** pretežito utječu na rješenja projekta robnog terminala, ali također utječu vrlo značajno i na odabir područja. Naročito u slučajevima kod roba odnosno tereta koji mogu predstavljati rizično djelovanje na životno okruženje, zahtijevaju se područja koja sadrže povoljan utjecaj ruže vjetrova, zatim područja koja se nalaze na većoj udaljenosti od urbanih sredina, koja su gusto naseljena i slično. Robni terminali odnosno robno-transportni centri se postavljaju na područja uz prometnice urbanih sredina iz razloga zaustavljanja te isto tako zabrane kretnji teških teretnih vozila kroz uže gradske zone
- **Društveno-socijalna i kulturna obilježja** čine sastavni dio makrolokacijskih problema vezanih za razvitak sustava logistike. Cilj provođenja analize ovakvih čimbenika odnosi se na procjenu njihovog utjecaja na kvalitetu samih usluga logistike zatim na komponente vremena isporuke, točnost, fleksibilnost, pouzdanost i ostalo.
- **Privredno-organizacijska obilježja** prilikom odabira područja mogu posjedovati makro i mikrodimenziju. Prisutnost snažnih privrednih sustava te također menadžmenta poduzeća, a isto tako i specijaliziranih logističkih opskrbljivača u sklopu okruženja potencijalnog područja mogu imati presudnu ulogu prilikom odabira mjesta za razvitak terminala. Prisutnost snažnih privredno-organizacijskih subjekata

sapodručja logistike, menadžmenta i informacijskih tehnologija pružaju mogućnost efikasnog razvitka logističkog centra.

2.2. Područje gravitacijskih zona robnog terminala

Gravitacijska zona robno transportnog centra definira se kao područjesa kojeg se pokreću robno transportni tokovi koji u jednoj fazi svoga kretanja prolaze kroz terminal. Takvo područje određeno je geoprometnim položajem, unutrašnjim i vanjskim tokovima i ekonomsko političkim čimbenicima, te brojem, strukturom i lokacijom korisnika usluga koje nudi robno transportni centar[8].

Veličina gravitacijskog područja robno transportnog centra može sezati i do tisuću kilometara. Područje do 250 kilometara smatra se užim gravitacijskim područjem, zatim područje do 500 kilometara zonom orijentacije većine robnih tokova roba na terminal te naposljetku najšire područje koje se naziva zonom interesa kod pojedinih vrsta roba, načina prijevoza i odredišta.

Geoprometni položaj robno transportnog centra može se prema jednoj podjeli razvrstatii u četiri skupine[9]:

- Lokalno gravitacijsko područje do 250 km
- Gravitacijsko područje do 500 km
- Gravitacijsko područje posebnog interesa do 750 km
- Gravitacijsko područje povremenog interesa do 1000 km

Lučki terminali koji su ujedno intermodalni, imaju šire gravitacijsko područje od kopnenih terminala koji vrlo često preuzimaju ulogu tranzitnih terminala prema velikim lučkim terminalima za određeno područje.

Najznačajnija hrvatska morska luka, luka Rijeka, zbog svog povoljnog geoprometnog položaja omogućuje najkraću pomorsku vezu između zemalja srednje i istočne Europe i prekomorskih zemalja.Isto tako, kao dio TEN-T prometne mreže, ima izniman značaj za pomorski zatvorene zemlje u regiji (Mađarska, Austrija, Slovačka; Češka, Srbija i BiH), stoga je u povoljnoj poziciji da iskoristi svoje prirodne prednosti. Zbog loših prometnih strategija

[8]Rožić T.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014

[9]Rožić T.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014..

narazini države, luka Rijeka još uvijek ne iskorištava svoj prirodni potencijal[10].Na slici 1.prikazano je uže gravitacijsko područje luke Rijeke.



Slika 1. Uže gravitacijsko područje luke Rijeke

Izvor: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_04_42_998.html

Postoje više kriterija koji definiraju geoprometno i gravitacijsko područje[11]:

- Postojeći unutarnji i vanjski tokovi uključujući tranzit
- Razvijenost prometne mreže i mogućnosti uključivanja na glavne prometnice, dubina akvatorija kod lučkih terminala, povezivanje sa najmanje dvije grane prometa
- Ekološki aspekt
- Veličina površine namijenjene za izgradnju robno terminala

Gravitacijsko područje robno transportnog centra određeno je geoprometnim položajem, glavnim unutarnjim, međunarodnim i tranzitnim robnim tokovima te ekonomskim i političkim čimbenicima. Kao jedan od najvažnijih kriterija za odabir makrolokacije terminala može se navesti struktura i intenzitet robnih tokova, a smanjenje troškova distribucije i sigurnost opskrbe određenog tržišta ili dijela tržišta uvjetuju taj kriterij.

[10] http://www.lukarijeka.hr/_Data/Files/194_201506081251975/LKRI%20%20Menad%C5%BEment%20prezentacija%20-%20FINAL%2008.06.2015..pdf

[11]Mlinarić T.J.: Robno transportni centri, skripta, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

Faktori koji utječu na određivanje gravitacijskog područja robno transportnog centra su[12]:

- *Struktura sustava i usluga u RTC-u*. Struktura sustava i usluga ovisi o broju i kvaliteti usluga svim vrstama robnih i transportnih tokova.
- *Korisnici usluga RTC-a* su generatori robno transportnih tokova
- *Robno transportni tokovi.* Određivanje lokacije RTC-a je pitanje transformacije tokova i mogućnosti terminala da ih privuče
- *Geopolitički položaj regije u kojoj se nalazi RTC.* Geografski položaj RTC-a određuje zone gravitacije korisnika, te usmjeruje gospodarske ali i robno transportne tokove.
- *Transportni koridori.* Posljedica su gospodarskih tokova, geografskog položaja, tokova i infrastrukture.
- *Prometno transportna povezanost.* Za usmjeravanje robe na RTC, potreban je korisnik, tokovi i jaka prometna povezanost sa korisnikom
- *Status terminala, gustoća logističke mreže.* Povećanjem gustoće mreže RTc-a, stvara se konkurirajuća usluga koja selektivno djeluje na korisnika.

2.3. Kriteriji za izbor lokacije robnog terminala

Prilikom odabira lokacije robno transportnog centra, potrebno je zadovoljiti brojne kriterije koji se mogu razvrstavat po različitim aspektima promatranja sustava i donositelja odluke.

Svrstavanje kriterija prema tehnološkom, ekonomskom, ekološkom, zakonsko- regulativnom, organizacijskom i tehničkom karakteru, pruža mogućnost selekcije i uočavanja nedostataka lokacijskih alternativa sa aspekta značajnih područja za razvoj terminala.

Postoje mnogobrojni kriteriji za izbor lokacije prema pripadnosti područja, a neki od njih su sljedeći[13]:

- ***Tehnološki***: intenzitet robnih, transportnih tokova, dostupnost terminala, centra, vrijeme isporuke robe, dostupnost tehnologija i vrste robe, povezanost s više vidova transporta, dostupnost terminala intermodalnog transporta
- ***Ekonomski***: troškovi logistike (transport, skladištenje, zalihe), troškovi aktiviranja lokacije, investicije izgradnje prilaznih prometnica i infrastrukture, neto sadašnja vrijednost, period povrata sredstava, gravitacija ekonomski razvijene privrede

[12]Rožić T.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
[13]Mlinarić T.J.: Robno transportni centri, skripta, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

- ***Organizacijski***: prisustvo logističkih uslužitelja, prisustvo intermodalnih transportnih operatera, mogućnost organizacije linijskih veza u željezničkom,vodnom transportu, predstavništva, udruženja,društva iz oblasti transporta i logistike
- ***Tehnički***: geološke karakteristike lokacije, infrastrukturna mreža (struja, voda, kanalizacija, itd.), tehničke mogućnosti povezivanja sa prometnom infrastrukturom željezničkog, vodnog prometa..
- ***Ekološki***: aero zagađenje, buka i vibracije, opasni materijali, opasne robe, utjecaj okruženja na robu u terminalu, utjecaj robe i procesa u terminalu na okruženje
- ***Zakonsko- regulativni***: uklapanje u prostorno urbanističke planove mogućnost vlasničkog reguliranja zemljišta i objekata, usklađivanje s zakonima koji reguliraju prisustvo, udaljenost i zaštitu okruženja terminala, kontrolu i status robe u terminalu, opasna roba

2.4. Primjeri robno transportnih centara u Europi

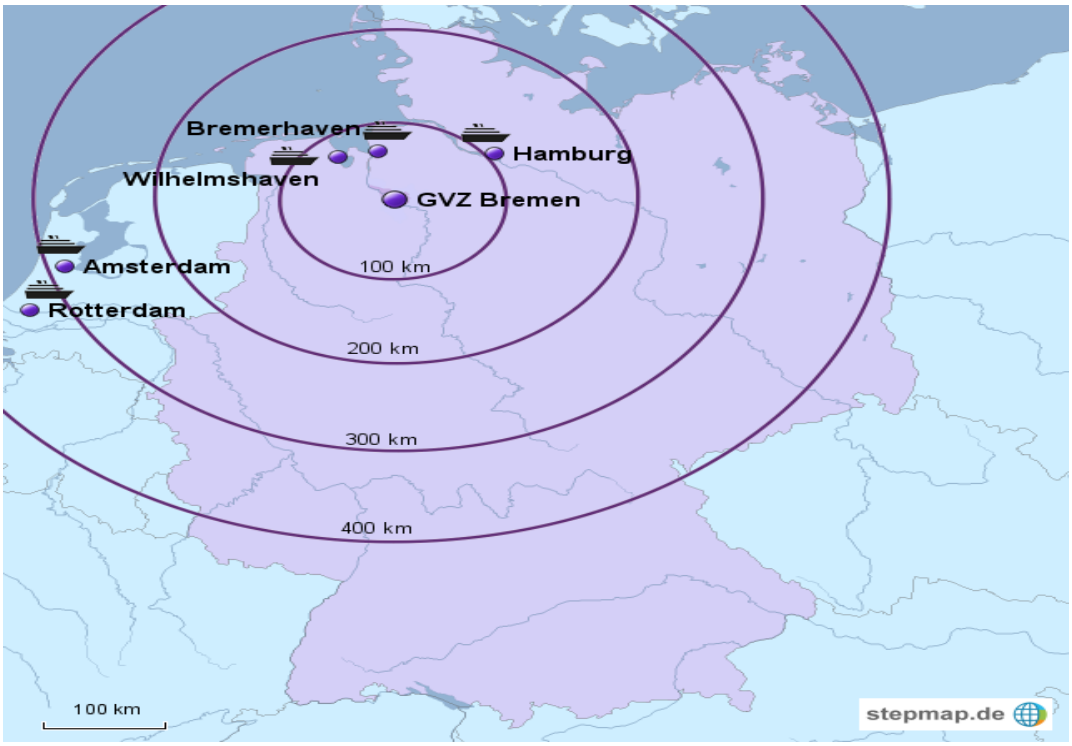
2.4.1. RTCBremen

Sa širokim područjem djelovanja, intemodalnom povezanošću i mnogobrojnim davateljima logističkih usluga, RTC Bremen pruža široku paletu usluga. To je model za razvoj budućih logističkih centara u Njemačkoj, ali i ostalim europskim zemljama. Na vodećem je mjestu u Njemačkoj kao transportno i logističko središte koje pruža logističke usluge, te na drugom mjestu po značaju u Europi[14]. Zauzima područje od 475 hektara, ima direktan pristup na cestovne prometnice i željeznički kolosjek, te kombinirani transportni terminal sa kapacitetom od 230 000 ukrcajnih jedinica.

Glavna prednost RTC Bremen stoji u činjenici da je izgrađen izvan urbanih dijelova grada, što doprinosi redukciji buke, zagađenju grada, smanjenom zakrčenju gradskog prometa. Logističke usluge poput ukrcaja, iskrcaja, prekrcaja s jednog transportnog sredstva na drugo, skladištenja, pakiranja i ostalih operacija omogućuje 24 sata dnevno, čime se omogućuje iznimno brza isporuka robe, i veliki protok robe u samom centru, čime se povećava broj korisnika. Prometna infrastruktura je iznimno razvijena, a tu se objedinjuje više vidova prometa, cestovni, zračni, željeznički te pomorski[15]. Na slici 2. Prikazuju se gravitacije zoneRTC Bremena.

[14]http://www.bremenports.de/en/location/the-ports/bremen

[15]https://www.wfb-bremen.de/de/gewerbegebiet-gvz



Slika 2. Gravitacijske zone GVZ Bremen

Izvor: http://www.stepmap.de/landkarte/gvz-bremen-1399538

Postoji više razloga zašto je RTC Bremen jedno od vodećih u europi[16]:

- U centru je sjevernog područja- FV Bremen nalazi se na idealnom položaju i glavni je terminal za globalne robne tokove
- Intermodalnost- u neposrednoj blizini nalaze se glavne cestovne prometnice, željeznica, morska luka i aerodrom, čime se povezuje više modova transporta
- Tijek prometa- završetkom autoceste 282 označilo je kraj uskih grla koji su utjecali na prometne tokove koji su išli iz sela, ali i ulazili u selo
- Mogućnost proširenja- prostire se na skoro 500 hektara površine, stoga postoji mogućnost za daljnjim proširenjem
- Suvremena infrastruktura- napredna transportna infrastruktura sa multimodalnim terminalima osigurava vodeću ulogu teretnog sela
- Učinkovitost putem mreže- iznimno visok stupanj horizontalnog i vertikalnog umrežavanja nudi sinergiju mogućnosti najviše kvalitete

[16]https://www.wfb-bremen.de/sixcms/media.php/120/Folder_GVZ_englisch_final%20%2005_03.pdf

- Potpuno odvijanje- više od 1,2 milijuna kvadratnih metara prostora za odvijanje logističkih operacija već je u funkciji

2.4.2. Smart Logistics Center Venlo

RTC Venlo smješten je u nizozemskoj regiji Sjeverni Limburg, u središtu dvije rijeke Meuse i Rajne.Slika 3 prikazuje gravitacijske zone Limburga. Zahvaljujući dugoj i bogatoj prošlosti trgovine i razmjene, ovo područje ima iznimno jako razvijenu logističku industriju.[17]Na tom području nalazi se veliki broj logističkih kompanija, upravo jer se potiče inovativni razvoj u okviru jake ekonomije i gospodarstva.RTC Venlo ima jedinstvenu strategiju razvoja u suradnji s vladom i edukacijskim i istraživačkim sektorom, čime je područje sjevernog Limburga postalo ključni europski logistički centar.[18]



Slika 3. Gravitacijske zone područja Limburg

Izvor: http://www.eulogisticshub.com/advanced_logistics.html

Kako bi učvrstio svoj položaj glavnog logističkog centra u Europi, RTC Venlo djeluje u smjeru povezivanja glavnih logističkih centara i europskih klijenata zahvaljujući izvrsnim multimodalnim sposobnostima.Visoko razvijene prometnice, vodni i zračni putevi te željeznica stvaraju multimodalno logističko okruženje, kako prikazuje Slika 4. Svaki prometni mod pruža prednosti i mogućnosti za logističke procese. Posebna pažnja obraća se na edukaciju osoblja i potiče se njihov osobni razvoj u području logistike.U blizini se nalaze dva

[17]http://www.eulogisticshub.com/about_us/logistics.html

[18]http://www.smartlogisticscentrevenlo.com/en/smart-logistics-centre-venlo

cijenjena sveučilišta iz područja logistike, Maastricht University i International Logistics Expertise Centre, koji su prepoznati u svijetu.Spoj multimodalnih logističkih mogućnosti i visokoobrazovanog osoblja U Limburgu omogućava izniman razvoj logistike i transporta.[19] Posebno se ističe u transport i skladištenju te u upravljanju teretom i informacijsko komunikacijskim sustavima.

RTC Venlo predstavlja jednu točku ulaza distribucije u Europu, što stranim tvrtkama omogućava maksimalnu učinkovitost logističkih procesa preko[20]:

- Najnižih ukupnih logističkih troškova po jedinici tereta
- Međunarodni položaj između Njemačke iFrancuske
- Brze opskrbe korisnika



Slika 4. Prikaz povezanosti Limburga sa gradovima u blizini

Izvor: http://www.eulogisticshub.com/about_us/logistics.html

[19]http://www.eulogisticshub.com/about_us/logistics.html

[20]http://www.eulogisticshub.com/warehousing_and_distribution/logistics.html

SLC Venlo ima mogućnost distribuirati robu na cijelom području Europe unutar dvadeset četiri sata, zahvaljujući[21]:

- Visoko razvijenoj infrastrukturi, logističkim objektima i obrazovanoj radnoj snazi
- Uhodanoj logističkoj industriji sa međunarodno usmjerenim djelovanjem

[21] http://www.eulogisticshub.com/advanced_logistics/logistics.html#an_industry_that_provides_advanced_logistics_solutions_for_any_need

3. MATEMATIČKE METODE ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE ROBNO TRANSPORTNOG CENTRA

Odluka o izgradnji i smještaju robno transportnog centra uključuje složeni niz čimbenika što ih uzrokuju mnogi drugi čimbenici. Ona pokreće mnoga razmatranja kao što su: analiza potražnje, radna snaga, investicijski uvjeti i ostalo.

Rezultat odluke utjecati će na svaku fazu proizvodnje. Potreba za analizom problema lokacije i primjenom znanstvenih metoda odlučivanja pojavljuje se kada su problemi lociranja vrlo složeni i potrebno je analizirati sve moguće parametre i alternative[22].

Prilikom znanstvene analize problema koristi se računalno moduliranje i matematičke metode, koje se primjenjuju u procesu donošenja poslovnih odluka koje omogućuju optimalno funkcioniranje problemskog lociranja. Kako bi se odabrala optimalna lokacija robno transportnog centra, razvijene su kvantitativne matematičke metode, a u radu su opisane sljedeće:

- Metoda centra gravitacije koja se koristi za određivanje jedne lokacije robno transportnog centra
- Medijan metoda koja također se koristi za određivanje jedne lokacije, i odlična je alternativa metodi gravitacije

Jednako tako razvijene su i metode za višekriterijsko odlučivanje, koje u svojoj analizi uzimaju u obzir veći broj kriterija i alternative. U radu su opisane neke od njih:

- Ahp metoda
- Electre metoda
- Promethee metoda

3.1. Kvantitativne metode za određivanje optimalne lokacije robno transportnog centra

3.1.1. Metoda centra gravitacije

Klasična gravitacijska metoda pronalazi optimalnu lokaciju robno transportnog centra prilikom čega se analizira i traži najbolji omjer ukupnih prijevoznih troškova logističkog centra i udaljenost od centra do kupca. U nekim slučajevima funkcije udaljenosti su

[22]http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s1/Kvantitativne_1_Promet.pdf (3.12.2015.)

nelinearne, a ukoliko je nelinearna funkcija kvadratna, jednostavno je pronaći optimalnu lokaciju koja se traži.

Gravitacijska metoda jednostavna je za primjenu, no nedostaci se očituju u što ne uzima u obzir pojedine parametre, poput sustava infrastrukture, troškove rada i zaliha te ostalih elemenata koji su bitni u procjeni izbora lokacije.

Osim za određivanje lokacije robno transportnog centra, koristi se i za određivanje[23]:

- Lokacije skladišta i terminala
- Smještaja proizvodnih pogona u tvornici
- Smještaja strojeva u pogonu
- Položaja radnika na radnom mjestu

Kako bi se pronašla optimalna lokacija, metodom centra gravitacije traži se ona točka u kojoj je iznos transportnih troškova između postojećih točaka i izabrane lokacije robno transportnog centra najmanja. Potrebno je naglasiti da su transportni troškovi između postojećih točaka definirani jediničnim transportnim troškom, volumenom potražnje i udaljenošću do točke gravitacije.

Znajući da se očekuju minimalni transportni troškovi, postavljena je slijedeća funkcija[24]:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * d_i \qquad (1)$$

Gdje su:

TC - ukupni transportni troškovi

N - broj točaka

V_i – volumen potražnje u točki i [t]

R_i - jedinični transportni trošak do točke i [novčana jedinica]

d_i - udaljenost od točke i do centra gravitacije [km]

[23]http://tesla.pmf.ni.ac.rs/people/dragance/Knjiga2MO.pdf (3.12.2015.)

[24] Orešković, M.: Usporedba metoda za određivanje lokacija logističko distribucijskih centara, diplomski rad, Fakultet prormetnih znanosti, 2015.

Udaljenost od točke i do centra gravitacije može se izraziti pomoću Pitagorin poučka u obliku:

$$d_i = K * \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2} \quad (2)$$

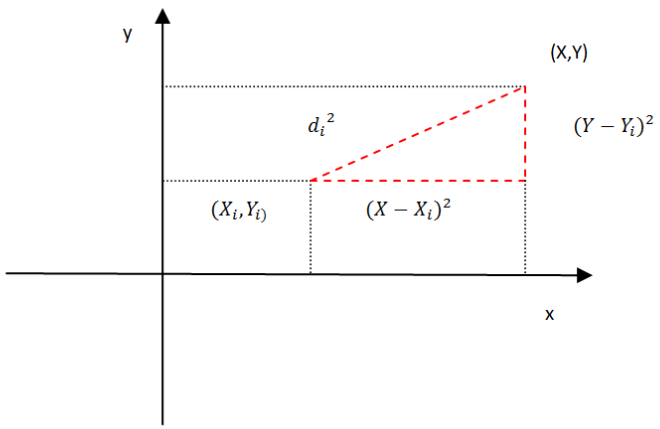
Gdje su:

$\bar{X}$, $\bar{Y}$ - koordinate centra gravitacije

X_i, Y_i – koordinate točaka

K – jedinična vrijednost u koordinatnom sustavu

Grafikon 1. predstavlja prikaz pitagorinog poučka o udaljenosti, pomoću čega je izražena udaljenost od točke i do centragravitacije d_i preko koordinata.



Grafikon 1. Pitagorin poučak

Izvor: Izradila i prilagodila autorica

Nadalje, uvrštavanje formule (2) u formulu (1), dobije se izraz:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * K * \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} + Y_i)^2} \quad (3)$$

Potrebno je pronaći željeni ekstrem funkcije cilja, što se može postići parcijalnom derivacijom po $\bar{X}$ i $\bar{Y}$ varijablama. Rezultat dobiven derivacijom izjednači se sa nulom i riješi sustav jednadžbi, čime se dobije optimalna vrijednost koja se traži.

Parcijalno deriviranje formule (3) po $\bar{X}$ i $\bar{Y}$ varijablama:

$$\frac{\partial TC}{\partial \bar{X}} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * [(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2]^{1/2} * 2 * (\bar{X} - X_i) * 1 = 0$$

$$\frac{\partial TC}{\partial \bar{Y}} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * [(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2]^{1/2} * 2 * (\bar{Y} - Y_i) * 1 = 0$$

Kada se izraze varijable iz ova dva izraza, dobiju se dvije formule koje služe za izračun ove metode:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{V_i * R_i * X_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{V_i * R_i}{d_i}} \quad (4)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{V_i * R_i * Y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{V_i * R_i}{d_i}} \quad (5)$$

Koraci prilikom pronalaska optimalne lokacije metodom centra gravitacije su sljedeći[25]:

- Odrediti vrijednosti koordinata $\bar{X}$, $\bar{Y}$ pomoću formula (4) i (5)
- Nakon pronalaska koordinata, izračunati parametar d_i
- Na temelju poznatih vrijednosti izračunati ukupne transportne troškove u prvom ponavljanju
- Parametar $d_i$uvrstiti u formule (4) i (5) kako bi se dobile optimalne koordinate $\bar{X}, \bar{Y}$
- Ponovno izračunati prostornu udaljenostd_i
- Izračunati ukupne troškove u drugom ponavljanju

3.1.2. Metoda medijana

Metoda medijana matematička je metoda za određivanje lokacije robno transportnog centra i temelji se na kumulativnoj težini. Koristi se za problem lokacije jednog logističkog centra s pravocrtnom udaljenošću u distribucijskoj mreži.

Ova metoda koristi se na dvije razine:

- Na makrolokaciji logističkog centra kada je potrebno odrediti lokacije skladišta koje će primati robu iz nekoliko tvornica sa poznatih lokacija
- Na mikrolokaciji kada je potrebno dodati novi stroj u postojeću mrežu strojeva proizvodnog pogona

[25]http://nastava.sf.bg.ac.rs/pluginfile.php/10585/mod_resource/content/0/vezbe/LOKACIJSKI_MODELI.pdf

Slični kao i kod metode centra gravitacije, potrebno je izračunati ukupne troškove distribucije pomoću sljedeće funkcije cilja[26]:

$$minTC = \sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * [|X_i - \bar{X}| + |Y_i - \bar{Y}|] \quad (6)$$

Gdje su:

TC – ukupni transportni troškovi ili troškovi distribucije od lokacije do objekta i

N – broj objekata

V_i - količina potražnje ili veličina transportnog toka od lokacije do objekta i

R_i - jedinični trošak transporta ili distribucije robe od lokacije do objekta i

X_i, Y_i - koordinate maloprodajnih objekata i

$\overline{X,Y}$ - koordinate optimalne lokacije

Umnožak parametara V_i i R_i može se zamijeniti težinom w_i, čime se dobije sljedeći izraz:

$$w_i = V_i * R_i \quad (7)$$

Uvrštavanjem formule (7) u (6) dobije se sljedeći skraćeni izraz formule (8):

$$minTC = \sum_{i=1}^{N} w_i * |X_i - \bar{X}| + \sum_{i=1}^{N} w_i * |Y_i - \bar{Y}| \quad (8)$$

Postupak rješevanja pomoću medijan metode provodi se prema sljedećim koracima:

- Poredati koordinate X_i postojećih objekata i po rastućem redoslijedu
- Odrediti j- te koordinate po osi x iz prethodnog koraka u kojoj su kumulativne težine jednake ili prekoračuju polovinu ukupne težine prema formuli:

$$\sum_{i=1}^{j-1} w_i < \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \; i \; \sum_{i=1}^{j} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \quad (9)$$

- Poredati koordinate Y_i postojeći objekata i po rastućem redoslijedu
- Odrediti k- te koordinate po osi y iz prethodnog koraka u kojoj su kumulativne težine jednake ili prekoračuju polovinu ukupne težine prema formuli:

$$\sum_{i=1}^{k-1} w_i < \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \; i \; \sum_{i=1}^{k} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \quad (10)$$

[26] Orešković, M.: Usporedba metoda za određivanje lokacija logističko distribucijskih centara, diplomski rad, Fakultet prormetnih znanosti, 2015.

Naposljetku, optimalna lokacija pronalazi se pomoću j- te koordinate na osi x i k- te koordinate na osi y.

3.2. Metode za višekriterijsko odlučivanje

Višekriterijsko odlučivanje je oblik odlučivanja u kojem se uključuje veći broj relevantnih osobina i obilježja raspoloživih alternativa u proces izbora.Kako bi se definirali ciljevi koji se žele postići donošenjem odluka, potrebno je utvrditi karakteristike alternativa koje se smatraju relevantnim u postupku izbora i temeljem kojih se provodi evaluacija i usporedba, odnosno kriterije.

Kriteriji se mogu svrstati u dvije skupine[27]:

- **Kvantitativni kriteriji** koji se vežu uz karakteristike alternativa koje se mogu precizno mjeriti ili predviđati, kao što su troškovi, ostvaren prihod, udaljenost, količina roba, a matematičke metode kojima se mjeri ova vrsta kriterija opisani u prethodnom poglavlju
- **Kvalitativni kriteriji**se vežu za karakteristike alternativa koje se ne mogu izmjeriti matematičkim metodama, te se nadalje dijele u dvije skupine:
    - Vrijednosti se rangiraju po intenzitetu, odnosno izradi se lista prioriteta
    - Kvantitativna usporedba nije moguća, te se takvi kriteriji koriste kako bi se ocjenile alternative

Kriteriji prema povezanosti vrijednosti i korisnosti mogu biti:

Prihodni kriteriji- porastom vrijednosti kriterija raste i korisnost za donositelja odluke, cilj je povećati vrijednost

Rashodni kriteriji- porastom kriterija opada korisnost za donositelja odluke, te se nastoji smanjiti vrijednost ovih kriterija

Nemonotoni kriteriji- mogu imati direktnu povezanost sa korisnosti, ali i inverznu

Izbor različitih kriterija koji će se ocjenjivati u višekriterijskom odlučivanju može biti subjektivan. Skup kriterija je takav skup, kojima se želi izraziti specifičan cilj.Mogu se

[27]Stanković R.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

razlikovati prema broju i sadržaju, no ponekad i prema značenju. Ponekad su cilj i kriterij jednaki, primjerice kada se traži samo profit, no u nekim slučajevima su različiti, te se njihovom korelacijom nameće novi kriterij kojega se pokušava ostvariti.

Kao potpora višekriterijskom odlučivanju, na području prometa najčešće se koriste sljedeće metode[28]:

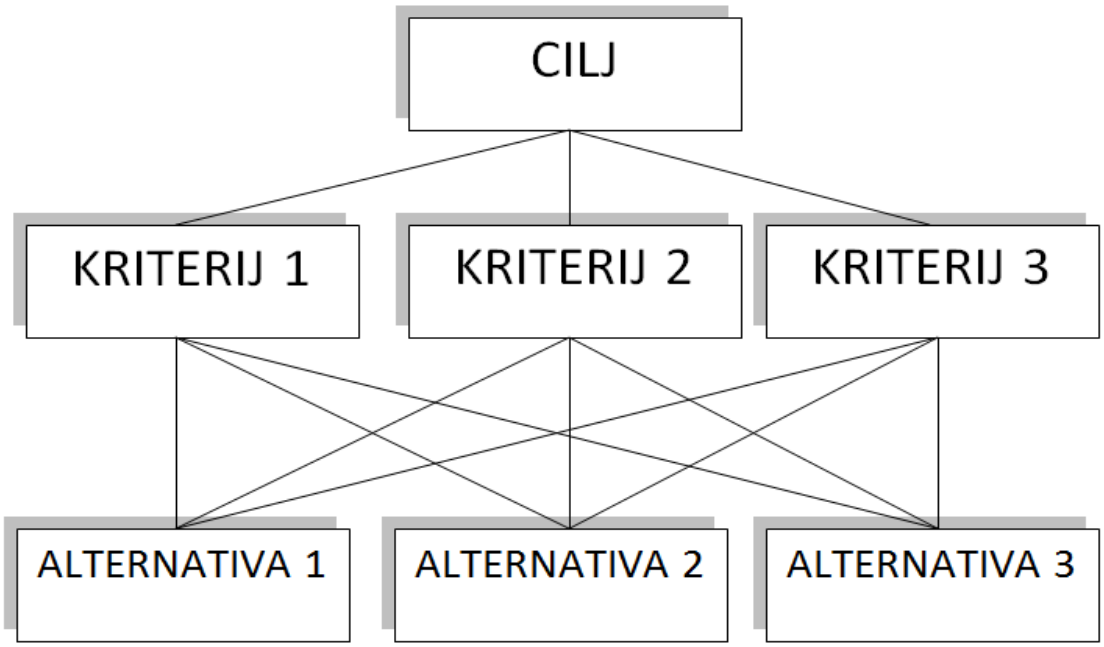
- AHP (Analitical Hierarchy Process) metoda
- Metoda Electre
- Promethee metoda
- Doctus

U daljnjem izlaganju pobliže će se objasniti metoda AHP, metoda Electre I metoda Promethee.

3.2.1. AHP (Analitical Hierarchy Process) metoda

Analitički hijerarhijski proces, AHP, najpoznatija je metoda za podršku višekriterijskom odlučivanju.Unutar ove metode, problemi se hijerarhijski slažu, a zatim se parovi kriterija i alternativa uspoređuju i ocjenjuju. Na vrhu hijerarhije nalazi se cilj, na prvoj razini ispod su kriteriji, zatim podkriteriji, a na najnižoj razini su alternative (mogućnost), kao što je prikazano na slici 4.

[28]Stanković R.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.



Slika 5. Shematski prikaz AHP metode

Izvor: Izradila autorica

AHP metoda omogućava rješavanje složenih problema koji sadrže mnogo kriterija i alternativa, te pronalazi njihove korelacije, prepoznaje njihov eksplicitni i relativni utjecaj te određuje koji je kriterij najvažniji. Dakle, ova metoda razlaže i najsloženije probleme na hijerarhiju, a u analizi uključuje i kvalitativne i kvantitativne aspekte problema, te naposljetku daje jasan prikaz svih faktora i njihovog međusobnog utjecaja.

3.2.1.1. Matematička osnova AHP

U modelu AHP metode, cilj je uvijek na vrhu, dok su na prvoj razini kriteriji, koji se međusobno uspoređuju u odnosu na element sa više razine. Potrebno je n*(n-1)/2 usporedbi, odnosno broj usporedbi je približno jednak kvadratu broja elemenata koji se uspoređuju. Postupak se ponavlja kroz hijerarhiju, sve dok se ne izvrše sve usporedbe do posljednje razine.

AHP se zasniva na četiri aksioma[29]:

- Aksiom recipročnosti- Ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je element B 1/n puta značajniji od elementa A
- Aksiom homogenosti- Elementi moraju biti homogeni, odnosno usporedivi
- Aksiom zavisnosti- Uspoređuju se elementi jedne razine sa elementima više razine, odnosno usporedbe na nižoj razini ovise o elementima više razine
- Aksiom očekivanja- Svaka promjena u strukturi hijerarhije dovodi do novog računanja u novoj hijerarhiji

Odnos između važnosti kriterija izražava se opisno, a kvantificira se na skali od 1 do 9, što prikazuje Saatyjeva skala Tablicom 5. Prioritet jedne alternative nad drugom s obzirom na pojedini kriterij također se izražava opisno, a kvantificira prema skali.

Tablica 1. Saatyjeva skala

Značaj	Definicija	Objašnjenje
1	Istog značaja	Dva elementa su istog značaja u odnosu na cilj
3	Slaba dominantnost	Umjerena prednost jednog kriterija
5	Jaka dominantnost	Nedvojbena prednost jednog kriterija
7	Demonstrirana dominantnost	Izrazita prednost jednog kriterija
9	Apsolutna dominantnost	Uvjerljivi dokaz u korist jednog kriterija
2,4,6,8	Međuvrijednosti	Potreban kompromis

Izvor: Izradila autorica

Rezultati usporedbe elemenata na određenoj razini stavljaju se na odgovarajuće mjesto u matrici usporedbe A. Ukoliko se međusobno usporede n broj elemenata sa odgovarajućim elementom sa više razine, tada se pri usporedbi elemenata i u odnosu na elemente j i pomoću Saatyjeve skale određuje brojčani koeficijent a_{ij} i stavlja na odgovarajuće mjesto u matrici A:

$$A = \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{matrix} \quad (11)$$

Recipročna vrijednost rezultata usporedbe stavlja se na mjesto a_{ji} da bi se očuvala konzistentnost rezultata. Primjerice, ako element 1 ima umjerenu prednost u odnosu

[29]http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf (6.12.2015.)

naelement 2, na mjestu a_{12} matrica A poprima vrijednost 3, a na mjestu a_{21} recipročnu vrijednost 1/3. Matrica A bi u idealnim uvjetima bila jednaka matrici X:

$$X = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Gdje w_i predstavlja relativni težinski koeficijent elemenata i.

Kako bi se vrijednosti vektora težinskih koeficijenta $w^T = \{w_{1,\dots,} w_n\}$ izdvojile iz matrice A, te da budu bliske aproksimacijama odgovarajućih elemenata iz matrice X, predlaže se da se za matricu A odredi vlastita maksimalna vrijednost λ_{max}. Tada je:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{matrix} = \text{n} \begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{matrix} \quad (13)$$

Vektor w dobije se rješavanjem linearne homogene jednadžbe:

$$A\mathbf{w} = nw (14)$$

S obzirom da matrica X ima razinu 1, sve su vrijednosti, osim jedne, jednake nuli.Suma vlastitih vrijednosti jednaka je tragu matrice. U ovom slučaju trag matrice jednak je n, prema tome n je vlastita vrijednost matrice A i jednadžba (14) ima netrivijalno rješenje. Rješenje se sastoji od pozitivnih elemenata u vektoru rješenja i ono je jedinstveno u granicama dane konstante. Kako bi se postiglo da vektor w bude jedinstven, njegovi elementi se normaliziraju na način da se dijele sa njegovom sumom

Nakon što se odredi vektor w, množi se sa težinskim koeficijentom elemenata sa više razine koji je korišten kao kriterij za usporedbu. Postupak se dalje ponavlja na nižim razinama hijerarhije. Za svaki element na određenoj razini računaju se težinski koeficijenti i koriste se ra određivanje relativnih težinskih koeficijenata elemenata. Kada se postupak privede do posljednje razine hijerarhije, na kojoj se nalaze alternative, određuju se kompozitni težinski koeficijenti svih alternativa. Zbroj tih koeficijenata iznosi jedan, a donositelj odluke u tom trenutku ima dvije ključne informacije:

- Poznat je relativni značaj svake alternative u odnosu na cilj hijerarhije
- Utvrđen je redoslijed alternativa po značaju.

3.2.1.2. Studija slučaja Balkanskog poluotoka u odabiru lokacije logističkog centra

U studiji je tražena optimalna lokacija logističkog centra na području Balkanskog poluotoka. Mnogi kriteriji utječu na odabir lokacije, stoga je potrebno provesti detaljnu analizu svih mogućih kriterija kombinacijom više različitih metoda: medijan metodom, E-S-P paradigmom te naposljetku AHP metodom. Najutjecajniji kriterij je geografski položaj, te je potrebno minimizirati prosječnu udaljenost objekata unutar distribucijske mreže, što će se analizirati medijan metodom i heurističkim algoritmom. Ostali relevantni kriteriji poput političke stabilnosti, sigurnosti, legalizacije i ostalih, definirati će se E-S-P paradigmom. Složenu analizu svih kriterija obaviti će se AHP metodom, te usporedbom alternativa pronaći će se optimalna lokacija za logistički centar[30].

Primjena medijan metoda i heuristički algoritam

Kako bi se transport robe kroz Balkanski poluotok (BP) odvijao sa minimalnim troškovima, logistički centar treba biti smješten u neposrednoj blizini željeznice, aerodroma i glavnih cestovnih prometnica. Kako bi se izmjerila učinkovitost centra, potrebno je evaluirati udaljenosti korisnika od lokacije logističkog centra. Kako opada prosječna udaljenost, tako raste pristupačnost LC-a.Računanje minimalnih transportnih troškova prikazano je u poglavlju 3.2.o metodi medijan. Za rješavanje medijan metode, koristi se heuristički algoritam. On započinje praznim skupom LC-a, s prvi- medijan problem od n problema se rješava i dodaje u skup. LC-i se dodaju jedan po jedan dok se ne dostigne broj p, a svaki puta se označuje lokacija koja smanjuje ukupne transportne troškove.

Pretpostavljajući da svaki građanin u bilo kojoj zemlji BP-a ima iste zahtjeve za određenom robom, tada je broj zahtjeva proporcionalan broju građana c_i u svakoj zemlji. Moguće alternative za lokaciju LC-a svedene su na glavne gradove zemalja BP-a. Prva alternativa je glavni grad Srbije Beograd, jer su transportni troškovi najniži u odnosu na ostale opcije. Udaljenosti između gradova računata je cestovnim prometnicama.Analiza zračne udaljenosti gradova uzeta je kao kriterij ocjenjivanja.Prvi medijan također je Beograd jer su transportni troškovi zračnim prometom opet najniži.Što se tiče željeznice, najisplativija je alternativa Bukurešt.

[30]Tomić V., Marinković D., Marković D.: The Selection of Logistic Centers Location using Multi- criteria Comparison: Case Study oft he Balkan Peninslula, Acta Polytechnica Hungarica, Hungary, 2014. Vol.11, No.10

Budimpešta, kao logistička vrata između LC-a Balkanskog poluotoka i Europe, integrirani je dio logističke mreže BP-a, iako geografski ne pripada u to područje[31]. Tablica 6 prikazuje rezultate medijan metode

Tablica 2: Rezultati metode medijana

PROMET NA AUTOCESTAMA		ZRAČNI PROMET		ŽELJEZNIČKI PROMET	
Grad	Prosječna udaljenost [km]	Grad	Prosječna udaljenost [km]	Grad	Prosječni sati putovanja [h]
Beograd	31,822,926,491.0	Beograd	23,361,770,017.0	Bukurešt	581,165,875.9
Sofija	32,188,617,927.0	Sofija	25,254,781,728.0	Sofija	700,917,022.6
Skopje	37,846,948,229.0	Bukurešt	26,631,877,464.0	Beograd	717,115,113.9
Bukurešt	35,273,951,137.0	Skopje	27,431,437,085.0	Zagreb	781,007,518.7
Solun	49,005,449,525.0	Sarajevo	29,160,273,980.0	Ljubljana	859,339,272.5
Budimpešta	37,316,007,790.0	Podgorica	30,160,161,396.0	Budimpešta	953,208,979.5
Podgorica	47,418,576,427.0	Budimpešta	31,029,996,417.0	Sarajevo	1,006,369,208.4
Tirana	50,088,069,735.0	Tirana	32,303,305,363.0	Solun	1,067,945,758.4
Sarajevo	45,436,154,063.0	Solun	35,371,385,840.0	Skopje	1,070,980,455.5
Zagreb	47,418,828,022.0	Zagreb	37,913,428,104.0	Podgorica	1,270,553,216.2
Ljubljana	55,685,302,780.0	Ljubljana	44,677,140,064.0	Tirana	1,350,950,458.4

Izvor: Izradilaautorica

Prema medijan metodi, najbolja alternativa za izgradnju LC-a je Beograd, jer su transportni troškovi cestovnog i zračnog prometa najniži.Što se tiče troškova željezničkog prometa, najniži su u Bukureštu.

Višekriterijsko odlučivanje u odabiru lokacije

Potrebno je analizirati sve kriterije koji utječu na odabir lokacije logističkog centra. Najpoznatija višekriterijska metoda koja uspoređuje sve važne kriterije i alternative, AHP metoda opisana je u poglavlju 4.1.

AHP metodom analizirano je šest najvažnijih kriterija, dvadeset devet podkriterija i deset alternativa[32].

[31] Ibid.

[32]Ibid.

Kao najvažniji kriteriji postavljeni su:

- Fizički tokovi
- Ekonomski tokovi
- Tokovi vlasništva
- Robni tokovi
- Tokovi informacija
- Ostali tokovi

Podkriteriji vrlo visokog utjecaja prema E-S-P paradigmi su:

- Sigurnost u zemlji
- Politička stabilnost
- Geografski položaj i rezultati medijan metode i heurističkog algoritma
- Stopa inflacije
- Prisutnost trgovinskih barijera
- Prometna infrastruktura
- Kreditna mogućnost
- Podmićivanje i korupcija
- Razvoj luka
- Ostala infrastruktura
- Složenost carinskih postupaka

Te ostali kriteriji jačeg i slabijeg utjecaja.

Nakon izrade matrice A može se zaključiti da su najznačajniji podkriteriji sigurnost i stabilnost zemlje, dok najmanji utjecaj na lokaciju logističkog centra ima kvaliteta obrazovanja.

Nadalje se uspoređuju težinski koeficijenti dobiveni matricom A svakog podkriterija za svaku od deset alternativa. Potrebno je napomenuti da se ovakve analize ne provode ručnim računanjem, nego postoje posebni računalni softveri koji vrše ovako kompleksne analize. U ovom slučaju koristio se softver Expert Choice.Konačni rezultati predstavljeni su utablici 7.

Tablica 3. Rezultati studije

Alternative	Slovenija	Crna Gora	Hrvatska	Grčka	Albanija	Makedonija	Rumunjska	Bugarska	BIH	Srbija
Rezultati	0,202	0,144	0,106	0,099	0,094	0,092	0,088	0,069	0,055	0,049

Izvor: Izradila autorica

3.2.2. Metoda Electre

Naziv Electre potječe od naziva ELemination Et Choice Translating REality. To je višekriterijska metoda za izbor najbolje alternative iz skupa alternativa, te je pogodna za rješavanje diskretnih problema i onih gdje su funkcije različitih tipova. Najčešće se koriste dva tipa metode[33]:

- ELECTRE I koja služi za djelomično rangiranje alternativa
- ELECTRE II koja služi za potpuno rangiranje

Metoda Electre primjenjuje se prilikom odluka za koje vrijede određene karakteristike:

- Donositelj odluke mora uključiti barem pet ili više kriterija (najčešće dvanaest ili trinaest) u model odlučivanja
- Prilikom ocjenjivanja alternativa koristi se skala rednih brojeva ili malih intervala, stoga je teško definirati funkciju usporedbe za različite alternative
- Otežano je ocjenjivanje svih kriterija na jedinstvenoj i smislenoj sklai, jer su kriteriji heterogeni
- Prilikom ocjenjivanja alternativa, ne prihvaća se gubitak jednog kriterija radi stjecanja novog kriterija
- Za barem jedan kriterij vrijedi da male razlike evaluacije nisu značajne u terminima preferencija, dok skup malih razlika može biti značajan. Prema tome, uvodi se

[33] Zak J., Weglinski S. The Selection oft he Logistics Center location based on MCDM/A methodology, Transportation Research Procedia, 17th Meeting of The Euro Working Group on Transportation, Sevilla, 2014., Vol. 2., str. 555-564.

razlikovni prag, čime struktura preferencija poprima opsežne ne-tranzitivne binarne relacije nerazličitosti

Modeliranje preferencija

Kako bi se preferencije U ELECTRE metodi modulirale, koristi se binarna relacija rangiranja S, čije je značenje „barem jednako dobro kao“. Ukoliko postoje dvije alternative a i b, postoje četiri relacije:

1. aSb and not bSa, recimo aPb (a je strogo preferirana u odnosu na b)
2. bSa and not aSb, recimo bPa (b je strogo preferirana u odnosu na a)
3. aS band bSa, recimo aIb (a je indiferentno b)
4. Not aS band nod bSa, recimo aRb (a je neusporedivo sa b)

ELECTRE metoda gradi dvije različite relacije rangiranja:

- Crispy (hrskav), fuzzy (zbunjen)
- Embedded (ugrađen)

Nadalje, relacijom rangiranja stvara se nova relacija preferencije R- neusporedivost.Ukoliko je nemoguće usporediti dvije alternative, koristi se ova relacija.

Postoje dva koncepta konstrukcije relacije rangiranja:

1. Suglasnost- ukoliko je većina kriterija u korist alternative a, rangira se aSb
2. Ne- nesuglasnost- kada je uvjet suglasnosti istinit, nijedan od mnogobrojnih kriterija ne bi trebao biti previše suprotstavljen tvrdnji aSb

Da bi se potvrdio aSb, moraju biti ispunjena ova dva koncepta.

Koraci izvođenja ELECTRE metode

Prilikom izvođenja metode, ponavlja se sljedećih devet koraka[34]:

1. Kalkulacija normalizirane matrice odlučivanja [R]

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} {x_{ij}}^2} \quad (14)$$

[34] http://www.academia.edu/388213/Ranking_of_Strategic_Plans_in_Balanced_Scorecard_by_Using_Electre_MetMet (9.12.2015.)

2. Kalkulacija normalizirane težinske matrice odlučivanja [V]

$$V_{ij} = N_{ij} * W_{ij} \tag{15}$$

3. Određivanje skupa konkordacije i diskordancije- za svaki par alternativa vrijedi $(a_{k,}a_l)$, gdje je (k,l = 1,2,…n), a za skup indeksa kriterija J = (1,2,…,n) dijeli se na dva podskupa:
   a) Skup konkordacije $C_{kl} = \{J;\ f_{kj} \geq f_{lj}\}$ za j = 1,2,…,n
   b) Skup diskordancije $D_{kl} = \{J;\ f_{kj} < f_{lj}\}$ za j = 1,2,…,n

4. Kalkulacija matrice konkordancije $[c_{kl}]$

$$c_{kl} = \sum_{jCw} w \tag{16}$$

5. Kalkulacija matrice diskordancije $[d_{kl}]$

$$d_{kl} = \frac{\max\limits_{j \in D_{kl}} |v_{kj} - v_{lj}|}{\max\limits_{j \in J} |v_{kj} - v_{lj}|} \tag{17}$$

6. Kalkulacija dominacija u matrici konkordancije

$$\underline{c} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} \frac{c_{kl}}{n(n-1)} \tag{18}$$

7. Kalkulacija dominacija u matrici diskonkordancije

$$\underline{d} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} \frac{d_{kl}}{n(n-1)} \tag{19}$$

8. Kalkulacija agregirane matrice dominacije [E]

$$e_{kl} = f_{kl} * g_{kl} \tag{20}$$

9. Eliminacija najslabijih alternativa izvodi se nad onim alternativama koje u svom redu imaju niz e_{kl}=0, dok je alternativa koja ima niz od e_{kl}=1 dominantna u odnosu na ostale alternative, a alternativa a_l slabija je od alternative a_k.

3.2.3. Promethee metoda

Metoda Promethee pripada skupini metoda za višekriterijsko odlučivanje u skupu alternativa opisanih sa više atributa koji se koriste kao kriteriji. Jedna vrsta metode omogućuje agregiranje kvalitativnih i kvantitativnih kriterija različite važnosti u relaciju parcijalnog uređenja u skupu alternativa, te se naziva Promethee I, dok druga agregira kriterije u jedinstven skup i naziva se Promethee II. Sveukupno je razvijeno šest takvih metoda.

U nastavku je opisan višekriterijski problem:

$$Max\big(f(a),\dots,f_k(a)\big)|a \in A \tag{21}$$

Gdje je A konačni skup aktivnost, a f_i, i= 1,…,k su kriteriji koristi koje treba maksimizirati ili zadovoljiti po principu „veće je bolje“ (ovo je pretpostavka koja omogućuje jednostavniju prezentaciju metode- u slučaju kada su neki od kriterija kriteriji troškova, oni se mogu promijeniti u kriterije koristi ili se postupak prilagođava tim kriterijima).

Primjenu Promethee metode označuju dva koraka[35]:

- Konstrukcija relacije preferencije za svaki kriterij f_i u skupu alternativa A (modeliranje sklonosti)
- Korištenje te relacije da bi se odgovorilo na višekriterijski problem

U prvom koraku, formira se složena relacija preferencije zasnovana na poopćenju pojma kriterija. Definira se indeks preferencije koja se prikazuje pomoću grafa preferencije. Suština ovog koraka je ta da donositelj odluke mora izraziti svoje preferencije između dvije alternative (akcije, aktivnosti) po svakom od kriterija, na temelju razlike kriterijalnih vrijednosti alternativa koje uspoređuje. Na taj način konstruirana relacija preferencije upotrebljava se tako da se za svaku alternativu izračunaju ulazni i izlazni tok u grafu. Na temelju tih tokova donositelj odlukemože u skup alternativa uvesti parcijalni (Promethee I) ili potpuni uređaj (Promethee II).

Modeliranje sklonosti

Neka je realna funkcija kojom se izražava jedan od atributa koji se upotrebljava kao kriterij za uspoređivanje alternativa:

[35]http://old.foi.hr/CMS_library/studiji/pds/mps/predmeti/Promethee_Tihi.pdf

$$f : A \rightarrow \boldsymbol{R} \tag{22}$$

pretpostavimo da se radi o kriteriju koristi, odnosno da se po tom kriteriju alternative uspoređuju poštujući princip "veće je bolje".

Za svaku alternativu $a \in A$, $f(a)$ je pripadna kriterijalna vrijednost po kriteriju *f*. Kada se uspoređuju dvije alternative $a,b \in A$, rezultat te usporedbe izražava se u obliku preferencije.

Funkcijom preferencije *P*

$$P : A \times A \rightarrow [\,0\,,1\,] \tag{23}$$

izražava se intenzitet preferencije alternative *a* u odnosu na alternativu *b* sa slijedećom interpretacijom[36]:

P(*a* , *b*) = 0 znači indiferenciju između *a* i *b*, tj. nema preferencije *a* nad *b*,

P(*a* , *b*)≈0 znači slabu preferenciju *a* nad *b*,

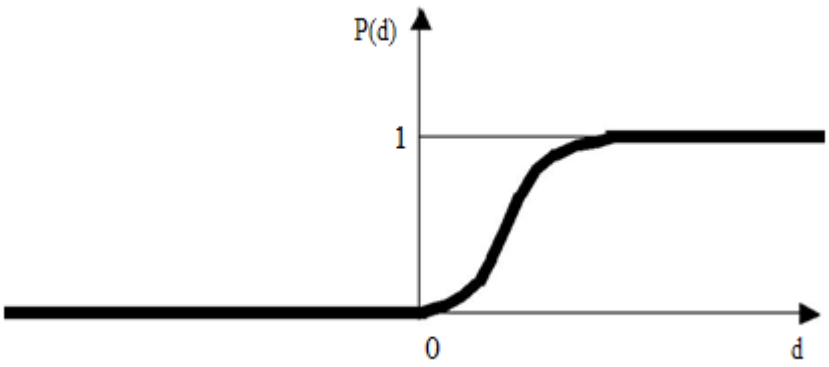
P(*a* , *b*)≈1 znači jaku preferenciju *a* nad *b*,

P(*a* , *b*) = 1 znači strogu preferenciju *a* nad *b*.

Funkcija preferencije koja se pridružuje pojedinom kriteriju je funkcija razlike kriterijalnih vrijednosti alternativa, pa se može pisati:

$$P(a\,,b) \;=\; P(f(a) \;-\; f(b)) \;=\; P(d) \tag{24}$$

P(d) je neopadajuća funkcija koja poprima vrijednost nula za negativne vrijednosti razlike *d= f(a)-f(b).* Graf opće funkcije s navedenim svojstvima prikazan je naslici 5.



Grafikon 2. Graf opće funkcije

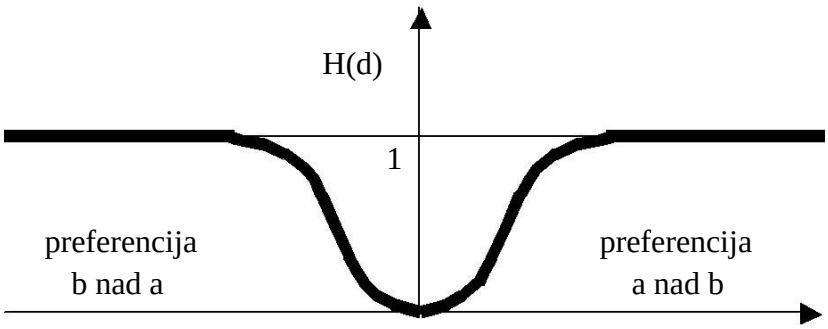
Izvor: Izradila autorica

[36] Ibid.

Promatra se šest tipova općih kriterija, koji su dovoljni za većinu praktičnih slučajeva. Kako bi se dobio bolji uvid u područje indiferencije, možemo promatrati sljedeću funkciju[37]:

$$H(d) = \begin{cases} P(a,b), d \geq 0 \\ P(b,a), d \leq 0 \end{cases} \quad (25)$$

Ova funkcija je prikazana naslici 6.



Grafikon 3. Graf funkcije indiferencije H

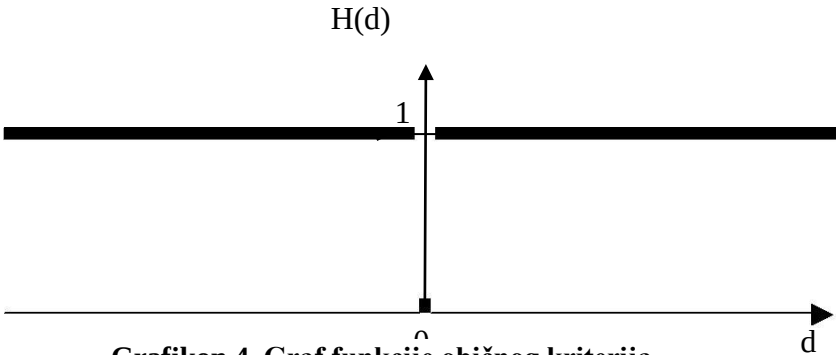
Izvor: Izradila autorica

U nastavku se prikazuju osnovni tipovi funkcija općih kriterija[38]:

1. **Običan kriterij**

$$H(d) = \begin{cases} 0, d = 0 \\ 1, d \neq 0 \end{cases} \quad (26)$$

U ovom slučaju postoji indiferencija između alternativa **a** i **b** ako i samo ako je $f(a)=f(b)$; čim se te vrijednosti razlikuju, donositelj odluke ima strogu preferenciju za aktivnost koja ima veću vrijednost. Funkcija H prikazana je grafom naslici 7.U ovom slučaju nije potrebno definirati nikakve parametre.



Grafikon 4. Graf funkcije običnog kriterija

Izvor: Izradila autorica

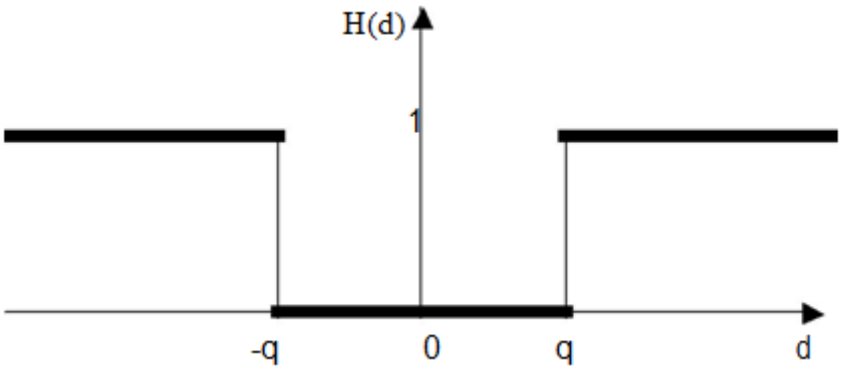
[37] Ibid.

[38] Ibid.

2. **Kvazi kriterij**

$$H(d) = \begin{cases} 0, -q \leq d \leq q \\ 1, |d| > q \end{cases} \quad (27)$$

Kao što se može vidjeti na slici 8, dvije aktivnosti su za donositelja odluke indiferentne,sve dok razlika između njihovih vrijednosti *d* ne prekorači prag indiferencije ***q***, a kada ga prekorači, radi se o strogoj preferenciji.



Grafikon 5. Graf funkcije kvazi kriterija

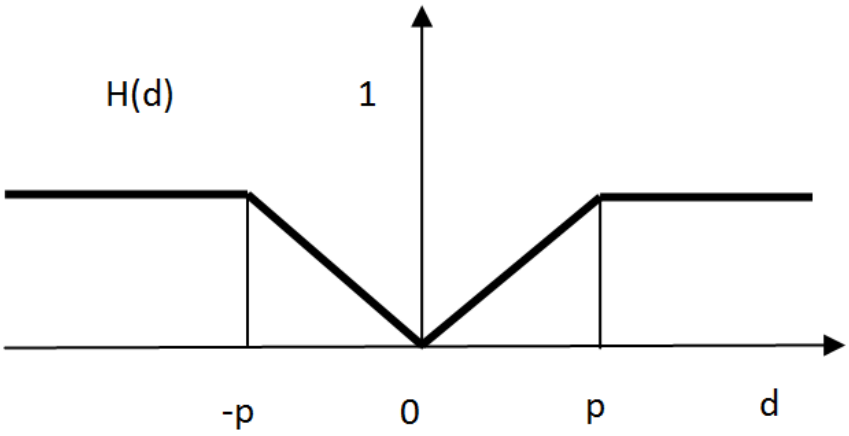
Izvor: Izradila autorica

Slika 9:

3. **Kriterij s linearnom preferencijom:**

$$H(d) = \begin{cases} \frac{d}{p} \\ 1, |d| > p \end{cases}, -p \leq d \leq p \quad (28)$$

Sve dok je ***d*** manji od***p***, preferencija donositelja odluke linearno raste s ***d***, a kad ***d*** postane veći od ***p***, nastaje situacija stroge preferencije. Donositelj odluke mora odrediti vrijednost praga preferencije ***p***, a to je najmanja vrijednost ***d*** koja uzima u obzir postojanje stroge preferencije jedne od odgovarajućih aktivnosti. Graf na slici 9.prikazuje funkciju trećeg tipa.



Grafikon 6. Graf funkcije kriterija s linearnom preferencijom

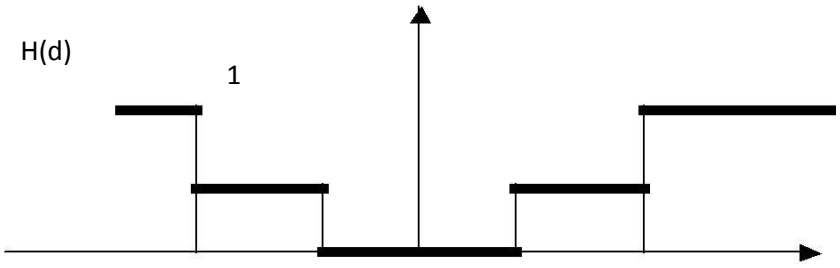
Izvor: Izradila autorica

Slika10:

4. Kriterij s razinama konstantne preferencije

$$H(d) = \begin{cases} 0, |d| \leq q \\ \frac{1}{2}, q < d \leq p, \\ 1, p < |d| \end{cases} \quad (29)$$

Prag indiferencije p i prag preferencije p istovremeno su definirani, no ne moraju biti jednaki.Ako d leži između p i q, preferencija je slabija.Na slici 10.se nalazi graf funkcije:



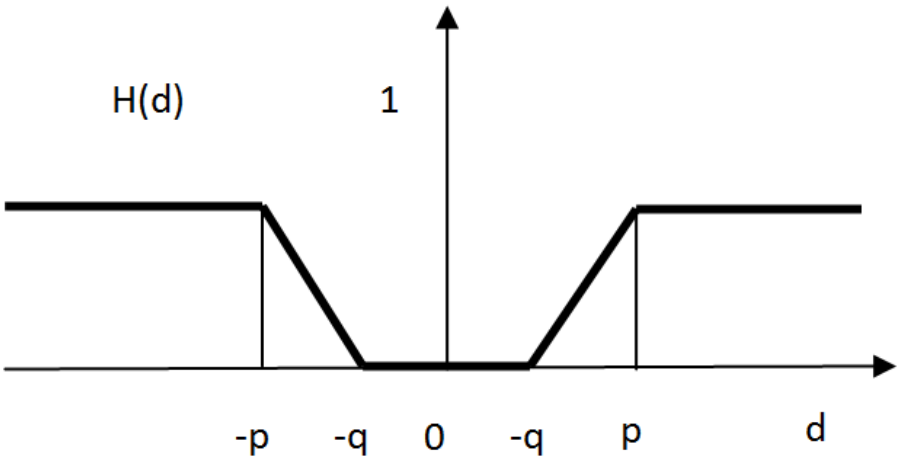
Grafikon 7. Graf funkcije kriterija s razinama konstantne preferencije

Izvor: Izradila autorica

5. Kriterij sa

$$H(d) = \begin{cases} 0, |d| \leq q \\ \frac{|d|-q}{p-q}, q < d \leq p \\ 1, p < |d| \end{cases} \quad (30)$$

Donositelj odluke smatra da njegova preferencija raste linearno u području između dva praga p i q, i to od indiferentnosti do stroge preferencije. Potrebno je definirat dva parametra. Funkcija je prikazana na grafu na slici 11.



Grafikon 8. Graf funkcije kriterija sa linearnom preferencijom i područjem indiferencije

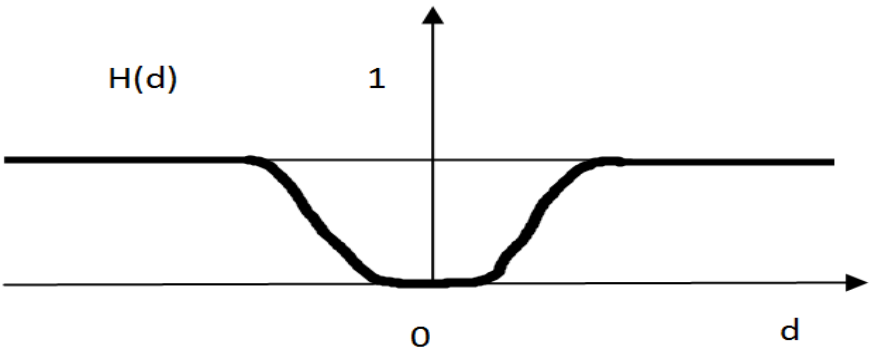
Izvor: Izradila autorica

Slika 12:

6. Gaussov kriterij

$$H(d) = 1 - exp\{-d^2/\sigma^2\} \quad (31)$$

Kao što se vidi na grafu, nema prekida funkcije što omogućava stabilnost rezultata. Potrebno je odrediti parametar normalne distribucije σ, koji se određuje na temelju ekonomskih argumenata.



Grafikon 9. Graf funkcije Gaussovog kriterija

Izvor: Izradila autorica

Kao što se može primijetiti, sve vrijednosti vektora nalaze se u rasponu od 0-1, a njihova suma uvijek iznosi 1. Najveću vrijednost vektora ima Slovenija, dok najmanju ima Srbiju. Iz ovih konačnih rezultata može se uočiti kolika je važnost upotrebe više metoda za analizu, i pri tome uključiti što više kriterija i pod kriterija. Analizom samo jednog kriterija, bez obzira koliko on bio bitan, nije moguće dobiti optimalan rezultat.Gledajući geografski položaj, Srbija je optimalan izbor za lokaciju, no analizirajući niz kriterija proizlazi kako je optimalan izbor Slovenija[39].

Cilj kvantitativnih metoda je odrediti točnu lokaciju moguće izgradnje robno transportnog centra, pri čemu troškovi prijeđenog puta, odnosno transporta između centra I korisnika moraju biti u najvećoj mjeri smanjeni. Metoda medijana I metoda centra gravitacije metode su određivanja kontinuirane lokacije, jer imaju za cilj odrediti lokaciju jednog robno transportnog centra koji će opskrbljivati korisnike, a da pri tome transportni troškovi između njih budu minimalni. Metoda medijana upotrebljava se pri rješavanju lokacijski problema s pravocrtnom udaljenošću, dok se metoda centra gravitacije upotrebljava kod kvadratne udaljenosti. Iako je cilj ovih metoda odrediti coordinate optimalne lokacije pri smanjenim transportnim troškovima, postoje razlike u načinu rješavanja problema. U nastavku će biti prikazan odabir optimalne lokacije za izgradnju robno transportnog centra na području RH, točnije, u obzir je uzeto pet lokacija, koje će se analizirati metodom medijana I centra gravitacije. Slijedi analiza metodom centra gravitacije, a zatim metodom medijana.

[39]Ibid.

4. PRIMJENA MATEMATIČKIH METODA U ODABIRU OPTIMALNE LOKACIJE NA PODRUČJU RH

4.1. Primjena kvantitativnih metoda

U ovom dijelu rada ispitati će se ispitati će se problem lokacije RTC.a na području Hrvatske sa ciljem rasterećenja zagrebačkog tržišta, zbog čega grad Zagreb ne ulazi u analizu. Pet gradova diljem Hrvatske uzeto je u analizu:

- Slavonski Brod
- Karlovac
- Koprivnica
- Osijek
- Split

Kod kvantitativnih metoda postoji samo jedan kriterij, a to je smanjiti transportne troškove između RTC-a I korisnika.Računanjem koordinata optimalne lokacije uz minimalne transportne troškove moguće je postići zadani cilj.U nastavku rada prikazano je kako pronaći optimalnu lokaciju, najprije metodom centra gravitacije, a zatim metodom medijana.

4.1.1. Primjena metode centra gravitacije

Prije samog izračuna, potrebno je prikazati koordinate pojedinih gradova, te njihove karakteristike prikazane u Tablici 4. Potražnja je izračunata temeljem robnog prometa iz luke Rijeka u TEU- ima na mjesečnoj bazi, trošak po jedinici transporta odabran je s obzirom na transportno sredstvo vlak, dok se težinski koeficijent izračuna umnoškom potražnje i troška po jedinici transporta.

Tablica 4. Početne vrijednosti lokacija za izgradnju RTC-a

	Koordinata X	Koordinata Y	Potražnja	Trošak po jedinici transporta	Težinski koeficijent
Slavonski Brod	190	152	60	0.15	9
Karlovac	43	190	72	0.15	10.8
Koprivnica	112	239	24	0.15	3.6
Osijek	232	199	60	0.15	9
Split	101	20	20	0.15	3
					35.4

Izvor: Izradila autorica

Glavni cilj metode izračunati je minimalne transportne troškove, pri čemu se koristi formula (1):

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * d_i$$

Temeljem zadanih podataka iz Tablice 1.u prilozima prvo je potrebno izračunati koordinate centra gravitacije $\overline{X}$ I $\overline{Y}$ na sljedeći način:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i * X_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i} = 140{,}356$$

$$\overline{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i * Y_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i} = 173{,}203$$

Kako bi se mogli izračunati minimalni troškovi, potrebna je prostorna udaljenost d_i koja se računa pomoću vrijednosti iz Tablice 2 u Prilozima na sljedeći način:

$$d_i = \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2}$$

Naposlijetku su poznati svi potrebni podaci za izračun minimalnih troškova prema formuli (1):

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * d_i = 3070{,}129$$

Dobiveni rezultati prikazuju početno stanje.Cilj ove metode je smanjiti ukupne transportne troškove izračunom optimiziranih koordinata sve dok razlika između prethodnih i sljedećih transportnih troškova bude neznatna.

Kako bi se dobile koordinate optimizirane lokacije, koriste se rezultati iz Tablice 3 u prilozima te se provodii račun temeljem sljedećih formula (4) i (5):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i * X_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{d_i}} = 169{,}006$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i * Y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{d_i}} = 169{,}551$$

Postupak se ponavlja, izračuna se prostorna udaljenost pomoću podataka iz Tablice 4 u Prilozima, te na temelju novih rezultata, računaju se minimalni troškovi na novoj lokaciji. U drugoj iteraciji, troškovi su smanjeni, te iznose 3067,102. Troškovi se u svakoj iteraciji smanjuju, a ustalili su se pri iznosu od 2954,234 pri koordinatama (229,032, 190,452).

4.1.2. Primjena metode medijana

U metodi medijana koriste se identične početne vrijednosti kao u prethodnoj metodi.

Prvi korak u rješavanju metodom medijana je poredati X_i koordinate odabranih lokacija po rastućem redoslijedu kao što prikazuje Tablica 5.

Tablica 5. Poredak X koordinata

	Koordinate X po uzlaznom redoslijedu	w_i	**Kumulativna težina** w_i
Osijek	232	9	9
Slavonski Brod	190	9	18
Koprivnica	112	3.6	21.6
Split	101	3	24.6
karlovac	43	10.8	35.4

Izvor: Izradila autorica

Kako bi se pronašla j-ta koordinata po osi- x iz prethodnog koraka, a čija je kumulativna težina veća ili jednaka polovici najveće kumulativne težine, koristi se formula (9):

$$\sum_{i=1}^{j-1} w_i < \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \; i \; \sum_{i=1}^{j} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} = \frac{35,4}{2} = 17,7$$

Kao što je vidljivo iz tablice 5, 18 > 17,7 te se stoga uzima u obzir j- ta koordinata koja iznosi 9, te se ona smatra optimalno koordinatom po osi- x.

Nadalje, potrebno je poredati $Y_i$koordinate odabranih lokacija po rastućem redoslijedu kako prikazuje Tablica 6.

Tablica 6. Poredak Y koordinata

	Koordinate Y po uzlaznom redoslijedu	w_i	**Kumulativna težina** w_i
Koprivnica	239	3.6	3.6
Osijek	199	9	12.6
Karlovac	190	10.8	23.4
Slavonski Brod	152	9	32.4
Split	20	3	35.4

Izvor: Izradila autorica

Zatim je potrebno odreditu k- tu koordinate po osi y u kojoj je kumulativna težine jednaka ili prekoračuje polovinu ukupne težine prema formuli (9):

$$\sum_{i=1}^{j-1} w_i < \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \; i \; \sum_{i=1}^{j} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} = \frac{35,4}{2} = 17,7$$

S obzirom da je polovina ukupne težine 23,4> 17,7, može se zaključiti da je optimalna koordinata po osi- y 12,6.

Zaključno, optimalna lokacija prema prethodnom računu ima koordinate (232, 199), te se može iščitati kako te koordinate ima Osijek, koji je ujedno i optimalna lokacija za izgradnju robno- transportnog centra.

Potrebno je izračunati i ukupne transportne troškove prema relaciji, uz pomoć Tablice 4:

$$minTC = \sum_{i=1}^{N} V_i * R_i * [|X_i - \bar{X}| + |Y_i - \bar{Y}|] = 2845,4$$

Tablica 7. Rješenja za izračun ukupnih transportnih troškova

	$(\overline{X_i - X})^2 * w_i$	$(\overline{Y_i - Y})^2 * w_i$
Koprivnica	332	144
Osijek	0	0
Karlovac	941.2	97.2
Slavonski Brod	378	323
Split	393	237
	2044.2	801.2

Izvor: Izradila autorica

Minimalni transportni troškovi dobiveni metodom medijana iznose 2845,4, dok metodom centra gravitacije iznose 2954,234, pri čemu se može zaključiti kako metoda medijana pruža bolje rješenje. Iako su koordinate optimalnih lokacija dviju metoda približno jednake, one ne pružaju iste transportne troškove. Razlika u troškovima iznosi 108,83, što nije zanemarivi iznos za vlasnike i korisnike potencijalnog robno transportnog centra. Metode, iako slične u svojim izračunima i dobivenim rezultatima, ipak sadrže određene razlike, koje su iznimno bitne u samoj odluci za izgradnju centra. Izgradnja centra dugoročan je project, kriva odluka može izazvati velike posljedice, stoga I naizgled mala razlika u iznosima, naposlijetku može uvelike utjecati na rad centra.

3.3. Primjena metoda za višekriterijsko odlučivanje

Metode višekriterijskog odlučivanja uključuju niz kvalitativnih i kvantitativnih kriterija i alternativa u svoju analizu. U nastavku rada biti će opisane tri metode: AHP, Electre i Promethee metoda na jednostavnim primjerima, pri čemu će se ocjenjivati pet kriterija te pet alternativa. Svaki kriterij ocjenjivati će se brojčano, te na temelju važnosti pojedinog kriterija, procijeniti će se koja od alternative nudi optimalno područje za razvitak logistički aktivnosti i procesa.

4.2.1. Primjena AHP metode

Republika Hrvatska teži gospodarskom i ekonomskom razvoju kako bi bila ravnopravan član Europske zajednice. Potrebno je privući i zadržati robne tokove, osnažiti gospodarstvo i proizvodnju te biti u toku sa tehnološkim razvojem. Trenutno nedostaje na razini države logistički centar koji bi bio u funkciji privlačenja robnih tokova. AHP metodom odabrati će se optimalna lokacija za izgradnju robno transportnog centra.

Ova metoda provodi se u nekoliko koraka:

PRVI KORAK je analiza postavljenog problema odlučivanja prilikom koje se primijeni osnovni model AHP metode kako bi se odredila optimalna lokacija za izgradnju robno transportnog centra, pri čemu je:

- Cilj: pronalazak optimalne lokacije za izgradnju RTC-a
- Kriteriji: robni tokovi, infrastruktura, tržište rada, utjecaj luke i gradska logistika
- Alternative: Slavonski Brod, Karlovac, Koprivnica, Osijek i Split

Tablica 8.prikazuje broj stanovnika u pojedinim gradovima, robni promet u TEU-ima, te udaljenost od luke Rijeke. Utjecaj lukei gradska logistika kvantitativni su kriteriji i moguće ih je izračunati, te se tako utjecaj luke dobije dijeljenjem robnog prometa sa udaljenošću od luke, dok je gradska logistika povezana sa brojem stanovnika.

Tablica 8. Karakteristike potencijalnih lokacija

	Broj stanovnika	Robni promet/TEU	Udaljenost od luke Rijeke/km	Utjecaj luke
Slavonski Brod	**59141.00**	**873.00**	**400.00**	**2.18**
Karlovac	**55705.00**	**283.00**	**150.00**	**1.89**
Koprivnica	**30854.00**	**727.00**	**300.00**	**2.42**
Osijek	**108048.00**	**695.00**	**500.00**	**1.39**
Split	**178102.00**	**248.00**	**400.00**	**0.62**

Izvor: Izradila autorica

DRUGI KORAK je sinteza postavljenog problema, odnosno potrebno je proučiti odnose između kriterija i alternative te ih međusobno usporediti. Kako bi se ostvario zadani cilj odnosno pronašla optimalna lokacija, potrebno je koristiti unaprijed definirane kriterije.S obzirom da unutar skupine kriterija nemaju svi kriteriji jednaku važnost, odnosno nemaju sve alternative jednaku važnost, potrebno je izvršiti procjenu kriterija i alternative.

TREĆI KORAK obuhvaća mjerenje i procjenu kriterija i alternativa. AHP metodom se vrši uspoređivanjem parova, te se tako u konkretnom slučaju prvo izvršava usporedba zadanih kriterija kako prikazuje Tablica. Uspoređivanje se izradi pomoću Saatyjeve skale.

Tablica 9. Usporedba zadanih kriterija

Kriteriji	Robni tokovi	Infrastruktura	Tržište rada	Utjecaj luke	Gradska logistika
Robni tokovi	1.00	3.00	5.00	4.00	0.33
Infrastruktura	0.33	1.00	2.00	0.33	3.00
tržište rada	0.20	0.50	1.00	2.00	2.00
Utjecaj luke	0.25	3.00	0.50	1.00	0.33
Gradska logistika	3.00	0.33	0.50	3.00	1.00
∑	4.78	7.83	9.00	10.33	6.67

Izvor: Izradila autorica

Vrijednosti se mogu prikazati iu matrici [A]:

$$A = \begin{bmatrix} 1{,}00 & 3{,}00 & 5{,}00 & 4{,}00 & 0{,}33 \\ 0{,}33 & 1{,}00 & 2{,}00 & 0{,}33 & 3{,}00 \\ 0{,}20 & 0{,}50 & 1{,}00 & 2{,}00 & 2{,}00 \\ 0{,}25 & 3{,}00 & 0{,}50 & 1{,}00 & 0{,}33 \\ 3{,}00 & 0{,}33 & 0{,}50 & 3{,}00 & 1{,}00 \end{bmatrix}$$

Zatim se izradi normalizirana matrica A' prema vrijednostima iz Tablice 9. Kako bi se izračunale te vrijednosti, potrebno je izračunati zbroj svakog reda, a zatim vrijednost svakog kriterija podijeliti sa sumom reda. Na taj način dobiju se normalizirane vrijednosti koje su potrebne za izračun relativnih težina.Nadalje, za izračun relativne težine pojedinog kriterija, sumu svakog reda dijelimo sa brojem kriterija koji se promatraju, u ovom slučaju sa brojem pet.

Tablica 10. Tablica normaliziranih vrijednosti

Kriteriji	Robni tokovi	Infrastruktura	Tržište rada	Utjecaj luke	Geografski položaj	∑	Relativne težine
Robni tokovi	0.2091	0.3830	0.5556	0.3872	0.0500	1.5848	0.3170
Infrastruktura	0.0697	0.1277	0.2222	0.0319	0.4500	0.9015	0.1803
Tržište rada	0.0418	0.0638	0.1111	0.1936	0.3000	0.7104	0.1421
Utjecaj luke	0.0523	0.3830	0.0556	0.0968	0.0500	0.6376	0.1275
Geografski položaj	0.6272	0.0426	0.0556	0.2904	0.1500	1.1657	0.2331
∑	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		

Izvor: Izradila autorica

Izračunate vrijednosti prikažu se u normaliziranoj matrici [A`]

$$A` = \begin{bmatrix} 0{,}2091 & 0{,}3830 & 0{,}5556 & 0{,}3872 & 0{,}0500 \\ 0{,}0697 & 0{,}1277 & 0{,}2222 & 0{,},319 & 0{,}4500 \\ 0{,}0418 & 0{,}0638 & 0{,}1111 & 0{,}1936 & 0{,}3000 \\ 0{,}0523 & 0{,}3830 & 0{,}0556 & 0{,}0968 & 0{,}0500 \\ 0{,}6272 & 0{,}0426 & 0{,}0556 & 0{,}2904 & 0{,}1500 \end{bmatrix}$$

Matrica vektora težine [W]:

$$\mathrm{W} = \begin{bmatrix} 0{,}3170 \\ 0{,}1803 \\ 0{,}1421 \\ 0{,}1275 \\ 0{,}2331 \end{bmatrix}$$

Zatim je potrebno ispitati konzistentnost rezultata tako da se prvo izračunaju vrijednosti λ_{max} za svaki kriterij. Kako bi se dobili zadovoljavajući rezulatit, matrica usporedbe kriterija množi se s matricom vektora težine:

$$\begin{bmatrix} 0{,}2091 & 0{,}3830 & 0{,}5556 & 0{,}3872 & 0{,}0500 \\ 0{,}0697 & 0{,}1277 & 0{,}2222 & 0{,},319 & 0{,}4500 \\ 0{,}0418 & 0{,}0638 & 0{,}1111 & 0{,}1936 & 0{,}3000 \\ 0{,}0523 & 0{,}3830 & 0{,}0556 & 0{,}0968 & 0{,}0500 \\ 0{,}6272 & 0{,}0426 & 0{,}0556 & 0{,}2904 & 0{,}1500 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0{,}3170 \\ 0{,}1803 \\ 0{,}1421 \\ 0{,}1275 \\ 0{,}2331 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1{,}6074 \\ 0{,}9118 \\ 0{,}7141 \\ 0{,}6465 \\ 1{,}1718 \end{bmatrix}$$

Dobivene rezultate dijelimo sa vektorima težine svakog pojedinog elementa, te se naposlijetku dobije sljedeći rezultat:

$$\lambda_{max} = \begin{bmatrix} 5{,}0707 \\ 5{,}0576 \\ 5{,}0256 \\ 5{,}0709 \\ 5{,}0271 \end{bmatrix}$$

Kako bi se izračunala konzistentnost matrice, prvo je potrebno izračunati α_{max}, odnosno vlastitu maksimalnu vrijednost:

$$\alpha_{max} = \frac{5{,}0707 + 5{,}0576 + 5{,}0256 + 5{,}0709 + 5{,}0271}{5} = 5{,}0504$$

Zatim se dobiveni rezultat koristi u izračunu stupnja konzistentnosti [CR]:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

CI se računa pomoću dobivenog rezultata α_{max}:

$$CI = \frac{\alpha_{max} - n}{n - 1} = 0{,}013$$

Slovo **n** označava broj kriterija upotrebljenih u izračunu.

RI je unaprijed određen parametar, tekao takav postoji za svaki red matrice. S obzirom da matrica reda pet, slučajan indeks RI u ovom slučaju iznosi 1,12.

Naposlijetku se izračuna stupanj konzistentnosti:

$$CR = \frac{0{,}013}{1{,}12} = 0{,}012$$

Gornja granica stupnja konzistentnosti iznosi 0,1, a dobiveni rezultat iznosi 0,012, te se može zaključiti kako su odnosi među kriterijima konzistentni.

Nakon provedene analize međuodnosa svih pet kriterija, potrebno je usporediti zadane alternative te procijeniti i analizirati relacije među njima.

4.1.3.1 Usporedba alternativa u odnosu na robne tokove

Tablica 11. Analiza robnog toka

ROBNI TOKOVI	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split
Slavonski Brod	**1.00**	**5.00**	**3.00**	**3.00**	**7.00**
Karlovac	**0.20**	**1.00**	**0.20**	**0.20**	**4.00**
Koprivnica	**0.33**	**5.00**	**1.00**	**0.33**	**6.00**
Osijek	**0.33**	**5.00**	**3.00**	**1.00**	**6.00**
Split	**0.14**	**0.25**	**0.17**	**0.17**	**1.00**
	2.01	16.25	7.37	4.70	24.00

Izvor: Izradila autorica

Tablica 12. Normalizirane vrijednosti za robni tok

ROBNI TOKOVI	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split	∑	W
Slavonski Brod	**0.50**	**0.31**	**0.41**	**0.64**	**0.29**	2.14	**0.43**
Karlovac	**0.10**	**0.06**	**0.03**	**0.04**	**0.17**	0.40	**0.08**
Koprivnica	**0.17**	**0.31**	**0.14**	**0.07**	**0.25**	0.93	**0.19**
Osijek	**0.17**	**0.31**	**0.41**	**0.21**	**0.25**	1.34	**0.27**
Split	**0.07**	**0.02**	**0.02**	**0.04**	**0.04**	0.19	**0.04**

Izvor: Izradila autorica

Kriterij robnog prometa analizirao se brojem TEU-a dopremljenih iz smjera luke Rijeka željezničkim prometom prema određenim lokacijama, te se ti podaci nalaze u Tablici 11. Može se uočiti da Slavonski Brod ima iznimno jaku dominaciju u odnosu na Split i Karlovac. Zatim slijedi Koprivnica i Osijek, dok u smjeru Karlovca i Splita robni promet teče manjim intenzitetom iz smjera luke.U Tablici 12.prikazani su normalizirani rezultati, te izračunati težinski koeficijenti W, potrebni u daljnjem izračunu.

4.1.3.2. Usporedba alternative u odnosu na infrastrukturu

Tablica 13. Analiza infrastrukture

INFRASTRUKTURA	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split
Slavonski Brod	**1.00**	**0.20**	**0.50**	**0.33**	**0.14**
Karlovac	**5.00**	**1.00**	**0.20**	**0.20**	**0.33**
Koprivnica	**2.00**	**5.00**	**1.00**	**0.20**	**0.20**
Osijek	**3.00**	**5.00**	**2.00**	**1.00**	**0.25**
Split	**7.00**	**3.00**	**5.00**	**4.00**	**1.00**
	18.00	14.20	8.70	5.73	1.93

Izvor: Izradila autorica

Tablica 14. Normalizirane vrijednosti infrastrukture

INFRASTRUKTURA	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split	∑	W
Slavonski Brod	**0.06**	**0.01**	**0.06**	**0.06**	**0.07**	0.26	**0.05**
Karlovac	**0.28**	**0.07**	**0.02**	**0.03**	**0.17**	0.58	**0.12**
Koprivnica	**0.11**	**0.35**	**0.11**	**0.03**	**0.10**	0.72	**0.14**
Osijek	**0.17**	**0.35**	**0.23**	**0.17**	**0.13**	1.05	**0.21**
Split	**0.39**	**0.21**	**0.57**	**0.70**	**0.52**	2.39	**0.48**

Izvor: Izradila autorica

Što se tiče infrastrukture, prednost se daje Splitu, no može se uočiti jaku dominaciju Karlovac prema Slavonskom Brodu.

4.1.3.3. Usporedba alternative u odnosu na tržište rada

Tablica 15. Analiza vrijednosti tržišta rada

TRŽIŠTE RADA	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split
Slavonski Brod	**1.00**	**2.00**	**4.00**	**0.33**	**0.25**
Karlovac	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**0.20**	**0.20**
Koprivnica	**0.25**	**0.50**	**1.00**	**0.20**	**0.14**
Osijek	**3.00**	**5.00**	**5.00**	**1.00**	**0.33**
Split	**4.00**	**5.00**	**7.00**	**3.00**	**1.00**
	8.75	13.50	19.00	4.73	1.93

Izvor: Izradila autorica

Tablica 16. Normalizirane vrijednosti tržišta rada

TRŽIŠTE RADA	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split	∑	W
Slavonski Brod	**0.11**	**0.15**	**0.21**	**0.07**	**0.13**	0.67	**0.13**
Karlovac	**0.06**	**0.07**	**0.11**	**0.04**	**0.10**	0.38	**0.08**
Koprivnica	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.04**	**0.07**	0.23	**0.05**
Osijek	**0.34**	**0.37**	**0.26**	**0.21**	**0.17**	1.36	**0.27**
Split	**0.46**	**0.37**	**0.37**	**0.63**	**0.52**	2.35	**0.47**

Izvor: Izradila autorica

Kriterij tržišta rada analizirao se i ocjenjivao u odnosu na broj stanovnika na svakoj pojedinoj lokaciji te mogućim brojem radno sposobne populacije. Može se zaključiti kako najveću dominaciju ima Split, ujedno i drugi grad po veličini u RH po broju stanovnika.

4.1.3.4. Usporedba alternative u odnosu na utjecaj luke

Tablica 17. Analiza vrijednosti za kriterij utjecaja luke

UTJECAJ LUKE	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split
Slavonski Brod	**0.50**	**2.00**	**0.50**	**4.00**	**5.00**
Karlovac	**0.50**	**1.00**	**0.33**	**0.50**	**3.00**
Koprivnica	**2.00**	**3.00**	**1.00**	**5.00**	**7.00**
Osijek	**0.25**	**2.00**	**0.20**	**1.00**	**3.00**
Split	**0.20**	**0.33**	**0.14**	**0.33**	**1.00**
	3.45	8.33	2.18	10.83	19.00

Izvor: Izradila autorica

Tablica 18. Normalizirane vrijednosti kriterija utjecaj luke

UTJECAJ LUKE	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split	∑	W
Slavonski Brod	**0.14**	**0.24**	**0.23**	**0.37**	**0.26**	1.25	**0.25**
Karlovac	**0.14**	**0.12**	**0.15**	**0.05**	**0.16**	0.62	**0.12**
Koprivnica	**0.58**	**0.36**	**0.46**	**0.46**	**0.37**	2.23	**0.45**
Osijek	**0.07**	**0.24**	**0.09**	**0.09**	**0.16**	0.65	**0.13**
Split	**0.06**	**0.04**	**0.07**	**0.03**	**0.05**	0.25	**0.05**

Izvor: Izradila autorica

Kriterij utjecaja luke mjerio se pomoću dva parametra, robnog prometa u TEU-ima iz smjera luke Rijeka prema lokacijama i udaljenosti pojedinih lokacija od luke. Može se primijetiti kako najveći utjecaj luka ima na Slavonski Brod i Koprivnicu, a najmanji na Split.

4.1.3.5. Usporedba alternative u odnosu na gradsku logistiku

Tablica 19. Analiza vrijednosti za kriterij gradske logistike

GRADSKA LOGISTIKA	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split
Slavonski Brod	**1.00**	**3.00**	**4.00**	**0.33**	**0.25**
Karlovac	**0.33**	**1.00**	**2.00**	**0.20**	**0.20**
Koprivnica	**0.25**	**0.50**	**1.00**	**0.14**	**0.14**
Osijek	**3.00**	**5.00**	**7.00**	**1.00**	**0.20**
Split	**4.00**	**5.00**	**7.00**	**5.00**	**1.00**
	8.58	14.50	21.00	6.68	1.79

Izvor: Izradila autorica

Tablica 20. Normalizirane vrijednosti kriterija gradska logistika

GRADSKA LOGISTIKA	Slavonski Brod	Karlovac	Koprivnica	Osijek	Split	∑	W
Slavonski Brod	**0.12**	**0.21**	**0.19**	**0.05**	**0.14**	0.70	**0.14**
Karlovac	**0.04**	**0.07**	**0.10**	**0.03**	**0.11**	0.34	**0.07**
Koprivnica	**0.03**	**0.03**	**0.05**	**0.02**	**0.08**	0.21	**0.04**
Osijek	**0.35**	**0.34**	**0.33**	**0.15**	**0.11**	1.29	**0.26**
Split	**0.47**	**0.34**	**0.33**	**0.75**	**0.56**	2.45	**0.49**

Izvor: Izradila autorica

Gradska logistika se ocjenjuje analizom broja stanovnika na pojedinom području, te najveću dominaciju imaju i Osijek, dok Koprivnica najmanju.

Nakon usporedbi svih pet alternative i izračuna težinskih koeficijenata u odnosu na svaki pojedini kriterij, pristupa se izradi agregirane matrice $[C_A]$ koja sadrži težine svih alternativa. Takva matrica množi se sa matricom težinskih kriterija kriterija, koji su prethodno izračunati, kako bi se dobio krajnji rezultat.

$$C_{A=}\begin{bmatrix} 0{,}43 & 0{,}05 & 0{,}13 & 0{,}25 & 0{,}14 \\ 0{,}08 & 0{,}12 & 0{,}08 & 0{,}12 & 0{,}07 \\ 0{,}19 & 0{,}14 & 0{,}05 & 0{,}45 & 0{,}04 \\ 0{,}27 & 0{,}21 & 0{,}27 & 0{,}13 & 0{,}26 \\ 0{,}04 & 0{,}48 & 0{,}47 & 0{,}05 & 0{,}49 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0{,}3170 \\ 0{,}1803 \\ 0{,}1421 \\ 0{,}1275 \\ 0{,}2331 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}2283 \\ 0{,}1258 \\ 0{,}1593 \\ 0{,}1390 \\ 0{,}4866 \end{bmatrix}$$

Tablica 21. Konačni rezultati

	Robni tokovi	Infrastruktura	Tržište rada	Utjecaj luke	Gradska logistika	Konačna težina	Postotak	Poredak
Slavonski Brod	**0.43**	0.05	0.13	0.25	0.14	0.2283	22.83%	2
Karlovac	**0.08**	0.12	0.08	0.12	0.07	0.1258	12.58%	5
Koprivnica	**0.19**	0.14	0.05	0.45	0.04	0.1593	15.93%	3
Osijek	**0.27**	0.21	0.27	0.13	0.26	0.139	13.90%	4
Split	**0.04**	**0.48**	**0.47**	**0.05**	**0.49**	**0.4866**	**48.66%**	**1**

Izvor: Izradila autorica

Konačan rezultat pokazuje kako je optimalna lokacija za izgradnju robno transportnog centra na području RH temeljem AHP metoda grad Split, dok se Slavonski Brod nalazi na drugom mjestu. Analizom svih pet kriterija: robin tokovi, infrastruktura, tržipte rada, utjecaj lukei gradska logistika pokazano je na kojem području bi se trebao izgraditi robno transportni

centar. Split kao drugi grad po veličini u RH, sigurno ima veliko tržište, dobru infastrukturu, te blizinu robnih tokova, i može pružiti sve uvjete koji su potrebni za optimalno funkcioniranje jednog takvog centra.

4.2.2. Primjena Electre metode

Prilikom analize odabira optimalne lokacije robno transportnog centra na području RH pomoću Electre metode, moguće je uključiti veliki broj kvalitativnih i kvantitativnih kriterija. U konkretnom slučaju u obzir ulazi pet kriterija i pet alternative, identičnih kao u analizi AHP metodom u prethodnom poglavlju, kako bi se naposlijetku izvršila usporedba dobivenih rezultata.

Pet kriterija:

- Robin tokovi
- Infrastruktura
- Tržište rada
- Utjecaj luke
- Gradska logistika

Pet alternativa:

- Slavonski Brod
- Karlovac
- Koprivnica
- Osijek
- Split

Kako je ranije naznačeno, Electre metoda provodi se kroz osam matematičkih korak, no potrebno je numerički usporediti kriterije i alternative, što prikazuje Tablica 22, te odrediti težinske koeficijente za pojedine kriterije.

Tablica 22. Usporedba alternative I kriterija

	Robni tokovi	Infrastruktura	Tržište rada	Utjecaj luke	Gradska logistika
Slavonski Brod	**8.00**	**7.00**	**6.00**	**7.00**	**7.00**
Karlovac	**6.00**	**5.00**	**6.00**	**6.00**	**7.00**
Koprivnica	**7.00**	**6.00**	**5.00**	**8.00**	**5.00**
Osijek	**5.00**	**6.00**	**7.00**	**6.00**	**8.00**
Split	**7.00**	**7.00**	**8.00**	**4.00**	**9.00**

Izvor: Izradila autorica

Zatim se vrijednosti unesu u matricu [A] koja je potrebna za daljnji izračun

$$A = \begin{bmatrix} 8 & 7 & 6 & 7 & 7 \\ 6 & 5 & 6 & 6 & 7 \\ 7 & 6 & 5 & 8 & 5 \\ 5 & 6 & 7 & 6 & 8 \\ 7 & 7 & 8 & 4 & 9 \end{bmatrix}$$

Tablica 23. Težinski koeficijenti zadanih kriterija

Kriteriji	**Robni tokovi**	**Infrastruktura**	**Tržište rada**	**Utjecaj luke**	**Gradska logistika**
Težinski keoficijenti	9	7	5	6	8

Izvor: Izradila autorica

Nakon što su definirani početni parametri, pristupa se matematičkom izračunu kroz osam koraka, prethodno opisanih u poglavlju 3.2.2.:

Korak 1. Kalkulacija normalizirane matrice odlučivanja R prema odgovarajućoj formuli

$$\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} {x_{ij}}^2}$$

Na sljedećem primjeru objašnjen je izračun:

$$r_{11} = \frac{a_{11}}{\sqrt{{a_{11}}^2 + \ a^2 + {a_{31}}^2 + {a_{41}}^2 + {a_{51}}^2}} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2 + 7^2 + 5^2 + 7^2}} = 0{,}5357$$

Kada se izračunaju svi elementi, dobije se matrica [R]:

$$R = \begin{bmatrix} 0{,}5357 & 0{,}5013 & 0{,}4140 & 0{,}4937 & 0{,}4276 \\ 0{,}5013 & 0{,}3581 & 0{,}4140 & 0{,}4232 & 0{,}4276 \\ 0{,}4140 & 0{,}4297 & 0{,}3450 & 0{,}5643 & 0{,}3054 \\ 0{,}4937 & 0{,}4297 & 0{,}4830 & 0{,}4232 & 0{,}4887 \\ 0{,}4276 & 0{,}5013 & 0{,}5521 & 0{,}2821 & 0{,}5498 \end{bmatrix}$$

Korak 2. Kalkulacija normalizirane težinske matrice odlučivanja

Uzimajući u obzir pravilo $V_{ij} = N_{ij} * W_{ij}$ množi se normalizirana matrica odlučivanja R sa težinskom matricom

$$\begin{bmatrix} 0{,}5357 & 0{,}5013 & 0{,}4140 & 0{,}4937 & 0{,}4276 \\ 0{,}5013 & 0{,}3581 & 0{,}4140 & 0{,}4232 & 0{,}4276 \\ 0{,}4140 & 0{,}4297 & 0{,}3450 & 0{,}5643 & 0{,}3054 \\ 0{,}4937 & 0{,}4297 & 0{,}4830 & 0{,}4232 & 0{,}4887 \\ 0{,}4276 & 0{,}5013 & 0{,}5521 & 0{,}2821 & 0{,}5498 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} 9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 4{,}8213 & 3{,}5091 & 2{,}0700 & 2{,}9622 & 3{,}4208 \\ 4{,}5117 & 2{,}5067 & 2{,}0700 & 2{,}5392 & 3{,}4208 \\ 3{,}7260 & 3{,}0079 & 1{,}7241 & 3{,}3858 & 2{,}4432 \\ 4{,}4430 & 3{,}0079 & 2{,}4150 & 2{,}5392 & 3{,}9096 \\ 3{,}8484 & 3{,}5091 & 2{,}7605 & 1{,}6926 & 4{,}3984 \end{bmatrix}$$

Korak 3. Određivanje skupa konkordacije I diskordancije prema slijedećim izrazima

$C_{kl} = \{J;\ f_{kj} \geq f_{lj}\}$za j = 1,2,…,n I $D_{kl} = \{J;\ f_{kj} < f_{lj}\}$ za j = 1,2,…,n

Ukoliko je vrijednost elementa f_{kj} veća ili jednaka elementu f_{lj}, tada se uzima vrijednost J. Ukoliko je element f_{kj}manji od elementaf_{lj}, tada se vrijednost J briše.

$C_{12} = 1{,}2{,}3{,}4{,}5 C_{21} = 3{,}5 C_{31} = 1{,}4$ $C_{41} = 1, 2, 3, 5$ $C_{51} = 2{,}3{,}5$

$C_{13} = 1{,}2{,}3{,}4$ $C_{23} = 1{,}3{,}5 C_{32} = 2, 4 C_{42} = 2, 3, 4, 5$ $C_{52} = 2{,}3{,}5$

$C_{14} = 1{,}2{,}4{,}5$ $C_{24} = 1, 4 C_{34} = 1, 4$ $C_{43} = 1, 2, 3, 5$ $C_{53} = 1{,}2{,}3{,}5$

$C_{15} = 1{,}2{,}4 C_{25} = 1{,}4$ $C_{35} = 4$ $C_{45} = 1, 4$ $C_{54} = 2{,}3{,}5$

$D_{12} = 1{,}2{,}3{,}4{,}5 D = 3{,}5 D_{31} = 1{,}4$ $D_{41} = 1, 2, 3, 5$ $D_{51} = 2{,}3{,}5$

$D_{13} = 1{,}2{,}3{,}4$ $D_{23} = 1{,}3{,}5 D_{32} = 2, 4 D_{42} = 2, 3, 4, 5$ $D_{52} = 2{,}3{,}5$

D_{14} = 1,2,4,5 $D_{24} = 1, 4 D_{34}$ = 1, 4 D_{43} = 1, 2, 3, 5 D_{53} = 1,2,3,5

D_{15} = 1,2,4D = 1,4 D_{35} = 4 D_{45} = 1, 4 D_{54} = 2,3,5

Korak 4. Kalkulacija matrice konkordancije

Kako bi se izradila matrica konkordancije, odnosno podudarnosti, koriste se rezultati iz prethodnog koraka. Dakle, za svaki skup podudarnosti izračuna se novi element za matricu na način da se zbroje težinski koeficijenti kriterija koji ulaze u određeni skup prema formuli:

$$c_{kl} = \sum_{jCw} w$$

Na konkretnom primjeru, za skup C_{12} zbrojit će se težinski koeficijenti prvog, drugog, trećeg četvrtog i petog kriterija, te će dobiveni rezultat biti novi element matrice podudarnosti.

$C_{12} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$ = 9 + 7 + 5 + 6 + 8 = 35

Tablica 24. Elementi matrice podudarnosti

C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{21}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{31}	C_{32}	C_{34}	C_{35}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{45}	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}
35	27	30	22	13	22	15	15	15	13	15	6	29	26	29	15	20	20	29	20

Izvor: Izradila autorica

Nakon što se izračunaju svi elementi, može se izraditi matrica konkordancije:

$$C = \begin{bmatrix} - & 35 & 27 & 30 & 22 \\ 13 & - & 22 & 15 & 15 \\ 15 & 13 & - & 15 & 6 \\ 29 & 24 & 29 & - & 15 \\ 20 & 20 & 29 & 20 & - \end{bmatrix}$$

Korak 5. Kalkulacija matrice diskonrdancije [d_{kl}]

Kako bi se izračunali elementi matrice, upotrijebiti će se dolje navedena formula:

$$d_{kl} = \frac{\max\limits_{j \in D_{kl}} |v_{kj} - v_{lj}|}{\max\limits_{j \in J} |v_{kj} - v_{lj}|}$$

Nadalje, potrebni su elementi normalizirane težinske matrice, koji se uvrštavaju u formula, te nakon izračuna svakog elementa, izradi se se matrica:

$$D = \begin{bmatrix} - & 0{,}0000 & 0{,}8925 & 0{,}6885 & 0{,}7700 \\ 1{,}0000 & - & 0{,}5127 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\ 0{,}8925 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 & 1{,}0000 \\ 0{,}8438 & 0{,}1371 & 0{,}5772 & - & 0{,}5920 \\ 0{,}7700 & 0{,}8268 & 0{,}8651 & 1{,}0000 & - \end{bmatrix}$$

Korak 6. Kalkulacija dominacija u matrici konkordancije

Kako bi se izračunali elementi dominantne matrice podudarnosti F, prvo je potrebno izračunati graničnu vrijednost $\underline{c}$ prema formuli $\underline{c} = \sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\frac{c_{kl}}{n(n-1)}$. Dakle, zbrajaju se elementi matrice konkordancije, te zatim dijele sa izrazom n(n-1), gdje je n red matrice, odnosno pet.

$$\underline{c} = \frac{414}{5(5-1)} = 20{,}7$$

Zatim se elementi matrice konkordancije uspoređuju sa graničnom vrijednošću, te u slučaju da je pojedini element veći od granične vrijednosti, izraz je jednak jedinici, no ako je element manji od granične vrijednosti, izraz je jednak nuli.

Usporedbom svih elemenata, dobije se dominantna matrica podudarnosti F:

$$F = \begin{bmatrix} - & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & - & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & - & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}$$

Korak 7. Kalkulacija dominacija u matrici diskonkordancije

Slično kao i u prethodnom koraku, dominatna matrica diskonkordancije izradi se usporedbom elemenata matrice nepodudarnosti D i granične vrijednosti $\underline{d}$, koja se izračuna pomoću formule $\underline{d} = \sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\frac{d_{kl}}{n(n-1)}$

$\underline{d} = \frac{15{,}3682}{20} = 0{,}7684$

Usporedbom svakog elementa matrice nepodudarnosti sa graničnom vrijednošću, dobije se dominantna matrica diskonkordancije

$$G = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & - & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & - & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & - & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & - \end{bmatrix}$$

Korak 8. Kalkulacija agregirane matrice dominacije [E]

Kako bi se izradila matrica, potrebno je množiti elemente dominantne matrice podudarnosti I razilaženja prema sljedećoj formuli:

$$e_{kl} = f_{kl} * g_{kl}$$

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}$$

Korak 9. Eliminacija najslabijih alternativa izvodi se nad onim alternativama koje u svom redu imaju niz e_{kl}=0, dok je alternativa koja ima niz od e_{kl}=1 dominantna u odnosu na ostale alternative, a alternativa a_l slabija je od alternative a_k.U konkretnom slučaju, prvi red matrice ima dva elementa koji poprimaju vrijednosti jedan, što je najveći broj u matrici. Dakle, Slavonski Brod je optimalna lokacija za izgradnju robno- transportnog centra na području RH.

4.2.3. Primjena Promethee metode

Primjena Promethee metode u ovom radu temelji se na primjeru odabira optimalne lokacije za izgradnju robno transportog centra na području RH. Kao o u ostalim primjerima, analiziraju se pet alternative i pet kriterija, a konkretne podatke moguće je pronaći u Tablici 23.

Tablica 25. Karakteristike alternativai kriterija

	Robni tokovi	Infrastruktura	Tržište rada	Utjecaj luke	Gradska logistika
Slavonski Brod	4	3	34212	2.18	2
Karlovac	4	4	33632	1.89	2
Koprivnica	2	2	36011	2.42	3
Osijek	3	3	84765	1.39	4
Split	5	4	158226	0.62	5
Faktor važnosti	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2
Prag indiferencije q	0	0	580	0.24	0
Prag preferencije p	0	0	0	0.5	0

Izvor: Izradila autorica

Kao što se može vidjeti iz tablice odlučivanja, grad Split je dominantna alternativa, stoga se isključuje iz daljnih izračuna.

Funkcije preferencije iskazuju se parametrima q i p, odnosno pragom indiferencije i pragom preferencije.Važnost svakog pojedinog kriterija izražena je faktorom važnosti.Radi jednostavnosti izvođenja, nazive alternative zamijeniti će se slovnim oznakama na slijedeći način:

Slavonski brod- A

Karlovac- B

Koprivnica- C

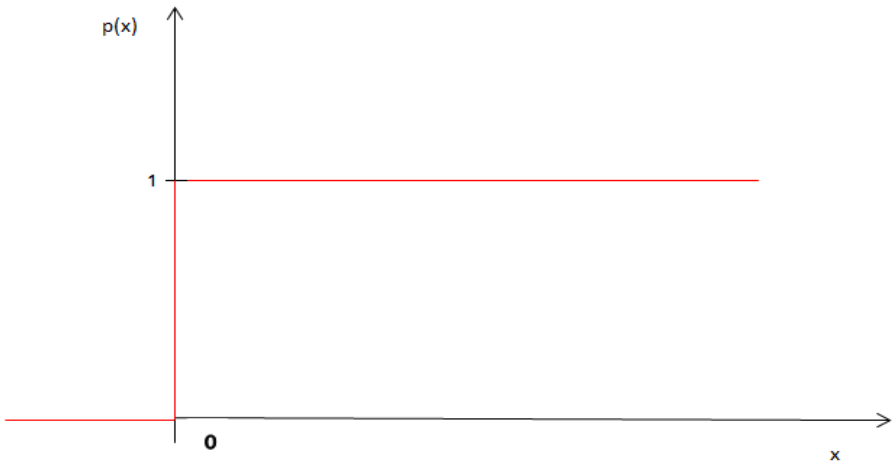
Osijek- D

Izračun se provodi u tri koraka:

1. **Računanje preferencija**

Za svaki pojedini kriterij izradi se graf funkcije, ovisno o pragu indiferencije i pragu preferencije, te se izračuna sama preferencija, a rezultati se iskažu u tablici. Slijedi prikaz funkcija za svaki od kriterija.

ROBNI TOKOVI



Grafikon 10.Grafički prikaz funkcije preferencije za robne tokove

Izvor: Izradila autorica

Za kriterij robnih tokova bitna je svaka razlika, stoga je parameter indiferenecije jednak nuli. Kako bi se izračunale vrijednosti preferencija, koristi se sljedeći izraz:

$$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

Tablica 26. Vrijednosti preferencija za robne tokove

Parovi alternativa	x	Robni tokovi P(x)
(A, B)	4- 4= 0	**0**
(A, C)	4-2= 2	**1**
(A, D)	4-3= 1	**1**
(B, A)	4- 4= 0	**0**
(B, C)	4- 2= 2	**1**
(B, D)	4- 3 = 1	**1**
(C, A)	2- 4 = -2	**0**
(C, B)	2- 4 = -2	**0**
(C, D)	2- 3 = -1	**0**
(D, A)	3- 4 = -1	**0**
(D, B)	3- 4 = -1	**0**
(D, C)	3- 2 = 1	**1**

Izvor: Izradila autorica

INFRASTRUKTURA

Za kriterij infrastrukture graf funkcije identican je grafu iz prošlog slučaja, a izračun se vrši na isti način, te su rezultati prikazani u Tablici 27.

Tablica 27. Vrijednosti preferencija za infrastrukturu

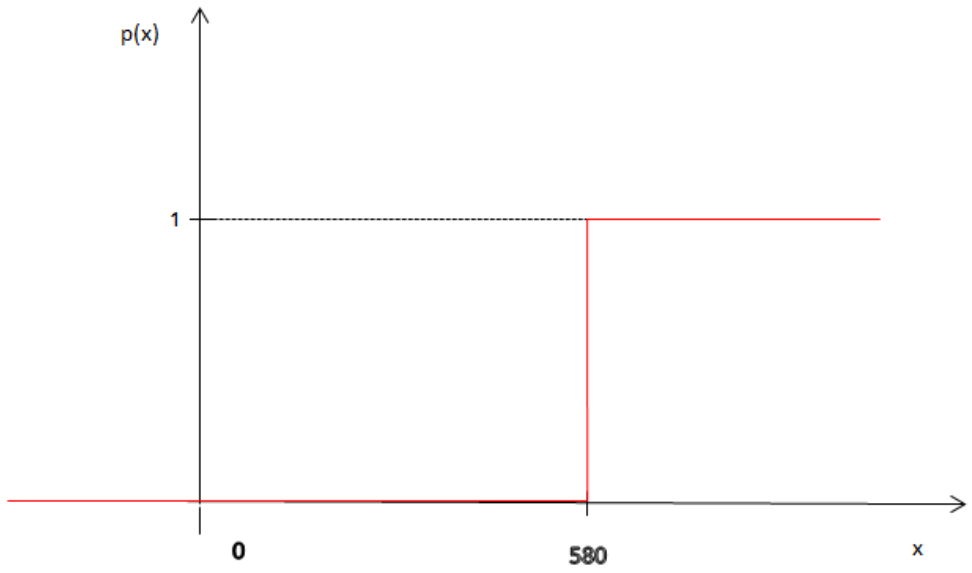
Parovi alternativa	x	Infrastruktura P(x)
(A, B)	3-4= -1	**0**
(A, C)	3-2= 1	**1**
(A, D)	3-3= 0	**0**
(B, A)	4- 3= 1	**1**
(B, C)	4- 2= 2	**1**
(B, D)	4- 3 = 1	**1**
(C, A)	2- 3 = -1	**0**
(C, B)	2- 4 = -2	**0**
(C, D)	2- 3 = -1	**0**
(D, A)	3- 3 = 0	**0**
(D, B)	3- 4 = -1	**0**
(D, C)	3- 2 = 1	**1**

Izvor: Izradila autorica

TRŽIŠTE RADA

U slučaju kriterija tržište rada, graf izgleda drugačije. Os x prikazuje razliku vrijednosti prilikom usporedbe dvije alternative, a os y predstavlja vrijednost preferencije. Ukoliko je vrijednost između dvije alternative manja ili jednaka 580, tada se alternativa A ne prefereira nad alternativom B. Ako je razlika vrijednosti iznad 580, tada se alternativa A preferira u odnosu na alternativu B. Izračun se vrši na temelju slijedećeg izraza:

$$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 580 \\ 1, & x > 580 \end{cases}$$



Grafikon 11. Grafički prikaz funkcije preferencije za tržište rada

Izvor: Izradila autorica

Tablica 28. Vrijednosti preferencija tržišta rada

Parovi alternativa	x	Tržište rada P(x)
(A, B)	580	**0**
(A, C)	-1799	**0**
(A, D)	-50553	**0**
(B, A)	-580	**0**
(B, C)	-2379	**0**
(B, D)	-51133	**0**
(C, A)	1799	**1**
(C, B)	2379	**1**
(C, D)	-48754	**0**
(D, A)	50553	**1**
(D, B)	51133	**1**
(D, C)	48754	**1**

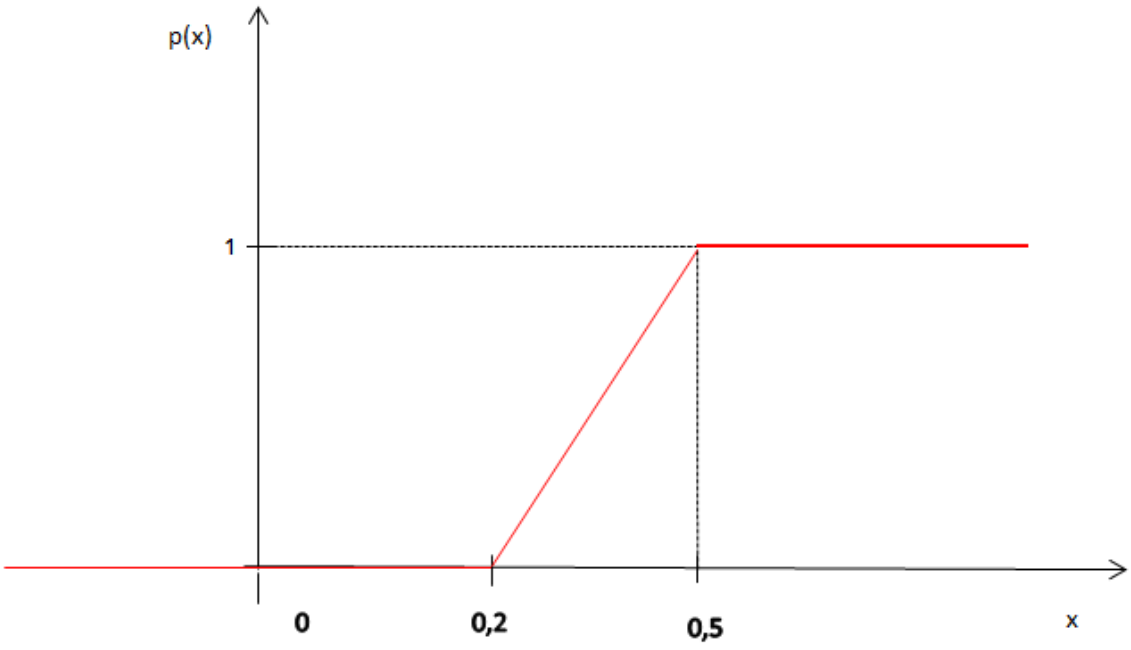
Izvor: Izradila autorica

UTJECAJ LUKE

Promethee metoda u nekim slučajevima ne može točno prefereirati jednu alternative nad drugom te im ne dodijeljuje vrijednosti nula ili jedan, već se preferencija vrijednosti nalazi u interval od nula do jedan, gdje su nula i jedna donja i gornja granica. Na primjeru kriterija utjecaj luke, prag indiferencije je razlika između vrijednosti utjecaja luke za Koprivnicu te za Slavonski brod i iznosi 0,24, dok je prag preferencije razlika između vrijednosti utjecaja luke za Karlovac te za Osijek.

Dakle, tek sa razlikom od 0,5 smatra se da se jedna alternative preferira u odnosu na drugu. Ako je razlika između vrijednosti 0,24 I 0,5, tada je vrijednost funkcije preferencije između nula i jedan, i to ako je bliža 0,24, tada je bliža nuli, a ako je bliža vrijednosti 0,5, tada je bliža i jedinici.

Funkcija preferencije koja oblikuje ovaj kriterij definirana je parametrom indiferencije i parametrom preferencije, a funkcija je definirana na slijedeći način:



Grafikon 12. Grafički prikaz funkcije preferencije za tržište rada

Izvor: Izradila autorica

Vrijednost funkcije izračuna se pomoću izraza:

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0{,}24 \\ \frac{x-0{,}24}{0{,}5-0{,}24}, & 0{,}24 < x \leq 0{,}5 \\ 1, & x > 0{,}5 \end{cases}$$

Rezultati su prikazani u Tablici 29:

Tablica 29. Vrijednosti preferencija utjecaja luke

Parovi alternativa	x	Utjecaj luke P(x)
(A, B)	0,29	**1**
(A, C)	-0,24	**0**
(A, D)	0,79	**1**
(B, A)	-0,29	**0**
(B, C)	-0,53	**0**
(B, D)	0,5	**1**
(C, A)	0,24	**0**
(C, B)	0,53	**1**
(C, D)	1,03	**1**
(D, A)	-0,79	**0**
(D, B)	-0,5	**0**
(D, C)	-1,03	**0**

Izvor: Izradila autorica

GRADSKA LOGISTIKA

Za kriterij gradske logistike graf funkcije preferencije te izračun je identičan kao i za kriterije robni tokovi i infrastruktura, a rezultati su prikazani u Tablici 30:

Tablica 30. Vrijednosti preferencija gradske logistike

Parovi alternativa	x	Gradska logistika P(x)
(A, B)	2 -2= 0	**0**
(A, C)	2- 3= -1	**0**
(A, D)	2- 4= -2	**0**
(B, A)	2- 2= 0	**0**
(B, C)	2- 3= -1	**0**
(B, D)	2- 4= 0	**0**
(C, A)	3- 2= 1	**1**
(C, B)	3- 2= 1	**1**
(C, D)	3-4 = -1	**0**
(D, A)	4- 2= 2	**1**
(D, B)	4- 2= 2	**1**
(D, C)	4- 3= 1	**1**

Izvor: Izradila autorica

Prikaz konačnih rezultat prikazan je u Tablici 31.

Tablica 31. Konačni rezultati

	Robni tokovi	Infrastruktura	Tržište rada	Utjecaj luke	Gradska logistika
(A, B)	0	0	0	1	0
(A, C)	1	1	0	0	0
(A, D)	1	0	0	1	0
(B, A)	0	1	0	0	0
(B, C)	1	1	0	0	0
(B, D)	1	1	0	1	0
(C, A)	0	0	1	0	1
(C, B)	0	0	1	1	1
(C, D)	0	0	0	1	0
(D, A)	0	0	1	0	1
(D, B)	1	0	1	0	1
(D, C)	1	1	1	0	1

Izvor: Izradila autorica

2. Indeksi preferencija

Kako bi se izračunao svaki pojedini indeks preferencije, potrebno je množiti faktor važnosti sa dobivenim preferencijama za svaki par alternative. Rezultati su prikazani u Tablici 32.

Tablica 32. Indeksi preferencija

Parovi alternativa	Preferencija	Konačni rezultat
Slavonski Brod, Karlovac	0.4*0+0.2*0+0.2*0+0.1*1+0.1*0	**0.1**
Slavonski Brod, Koprivnica	0.4*1+0.2*1+0.2*0+0.1*0+0.1*0	**0.6**
Slavonski Brod, Osijek	0.4*1+0.2*0+0.2*0+0.1*1+0.1*0	**0.5**
Karlovac, Slavonski Brod	0.4*0+0.2*1+0.2*0+0.1*0+0.1*0	**0.2**
Karlovac, Koprivnica	0.4*1+0.2*1+0.2*0+0.1*0+0.1*0	**0.6**
Karlovac, Osijek	0.4*1+0.2*1+0.2*0+0.1*1+0.1*0	**0.7**
Koprivnica. Slavonski Brod	0.4*0+0.2*0+0.2*1+0.1*0+0.1*1	**0.3**
Koprivnica, Karlovac	0.4*0+0.2*0+0.2*1+0.1*1+0.1*1	**0.4**
Koprivnica, Osijek	0.4*0+0.2*0+0.2*0+0.1*1+0.1*0	**0.1**
Osijek, Slavonski Brod	0.4*0+0.2*0+0.2*1+0.1*0+0.1*1	**0.3**
Osijek, Karlovac	0.4*1+0.2*0+0.2*1+0.1*0+0.1*1	**0.7**
Osijek, Koprivnica	0.4*1+0.2*1+0.2*1+0.1*0+0.1*1	**0.9**

Izvor: Izradila autorica

Indeks preferencije pokazuje intenzitet donositelja odluke za alternative A nad alternativom B, konkretno, uspoređuju se međusobno četiri alternative. Vrijednost indeksa nalazi se u granicama od 0 do 1, te što je vrijednost indeksa bliža nuli, to je preferencija jedne alternative slabija nad drugom. Tako je preferencija Slavonskog Broda nad Koprivnicom veća, dok je preferencija Karlovca nad Slavonskim Brodom manja.

3. Izračun ulaznog, izlaznog i čistog toka preferencije

Ulazni, odnosno pozitivni tok preferencije dobije se izračunom prosječne vrijednosti sume svakog reda. Ta vrijednost iskazuje koliko se jedna alternative prefereira u odnosu na druge.

Izlazni, odnosno negativni tok dobije se izračunom prosječne vrijedosti svkog stupca, te pokazuje koliko su prosječno druge alternative bile preferirane u odnosu na jednu alternative.

Kako bi se odredili ulazni tokovi T^+, koristi se izraz:

$$T^+ = \sum(a, x)$$

Za određivanje izlaznih tokova, koristi se izraz:

$$T^- = \sum(x, a)$$

Tablica 33. Ulazni I izlazni tokovi

	Slavonski Brod	**Karlovac**	**Koprivnica**	**Osijek**	T^+
Slavonski Brod	-	0.1	0.6	0.5	0.4
Karlovac	0.2	-	0.6	0.7	0.5
Koprivnica	0.3	0.4	-	0.1	0.266667
Osijek	0.3	0.7	0.9	-	0.633333
T^-	0.266666667	0.4	0.7	0.433333	

Izvor: Izradila autorica

Čisti tok preferencije je razlika ulaznog i izlaznog toka.Suma čistih tokova mora iznositi nula. Kako bi se odabrao optimalan rezultat, uspoređuju se dobivene vrijednosti, te za onu alternative koja ima najveću vrijednost čistog toka smatra se da je optimalan rezultat.

Tablica 34. Konačni rezultati

	T+	**T-**	**T**	**Poredak**
Slavonski Brod	0.4	0,266666667	0.133333	2.
Karlovac	0.5	0,4	0.1	3.
Koprivnica	0.266667	0,7	-0.43333	4.
Osijek	**0.633333**	**0,433333**	**0.2**	**1.**

Izvor: Izradila autorica

Što je veća razlika između ulaznog i izlaznog toka, preferencija alternative nad ostalim je veća. Iz konačnih rezultata može se zaključiti kako Osijek ima najveću razliku ulaznog i izlaznog toka, te kao takav je optimalna lokacija za izgradnju robno transportnog centra.

5. USPOREDBA REZULTATA MATEMATIČKIH METODA

Metoda centra gravitacije i metoda medijana ispoljavaju sličan rezultat, iako sam postupak izvođenja se razlikuje.Metoda centra gravitacije temelji se na pronalasku kooridnata optimalne lokacije. Nakon što se izračunaju početne coordinate tražene lokacije i transportni troškovi, parcijalnim deriviranjem po X i Y koordinatama pronalazi se one coordinate lokacije koje omogućuju najniže transportne troškove.Izračunom je dobivena lokacija u blizini Slavonskog Broda.

Metoda medijana u svom izračunu također upotrebljava koordinate lokacija korisnika, no sam izračun se razlikuje.Poredaju se X i Y koorinate danih lokacija korisnika po uzlaznom redoslijedu, te na temelju kumulativnih težina definiraju se koordinate optimalne lokacije. Isto kao kod prethodne metode, lokacija se nalazi u blizini Slavonskog Broda, no ukupni transportni troškovi su niži, čime se može zaključiti da je metoda medijana u ovom slučaju bolji izbor.

Metode višekriterijskog odlučivanja uključuju veći broj kriterija u svoju analizu, te je sam izračun složeniji. Ahp metodom određuje se važnost uključenih kriterija te se proučavaju odnosi između kriterija i alternative. Prvo se vrši uspoređivanje parova kriterija i provjerava konzistentnost, te se zatim uspoređuje svaki kriterij u odnosu na alternative. U izračunu u poglavlju 4.2.1.kao optimalna lokacija dobiveni rezultat odnosi se na grad Split.

Electre metoda provodi se kroz osam matematičkih koraka opisanih u poglavlju 3.2.2.eliminacijom najslabijih alternative odabire se optimalna lokacija, a rezultat koji se nudi je Slavonski Brod.

Promethee metoda temelji se na preferenciji jedne alternative nad drugom. Odrede se indeksi preferencija za parove alternative, te izračunaju ulazni i izlazni tokovi. Iščitavanjem konačnih rezultata, može se uočiti da je najveća razlika između ulaznog i izlaznog toka za grad Osijek, čime se zaključuje da je Osijek optimalna lokacija za izgradnju RTC-a.

Iz navedenih rezultata koji su prikazani u tablici, može se zaključiti kako se kao optimalne lokacije nude veći gradovi na području Hrvatske, a to su Split, Slavonski Brodi Osijek. Područje grada Zagreba i okolice gospodarski i ekonomski je vrlo razvijeno, te ima prednost nad ostalim gradovima. Kako bi se rasteretilo to područje te privukli robni tokovi u ostala područja, u ovom radu pokušalo se istražiti na kojoj lokaciji na cijelom području Hrvatske bi se mogao izgraditi RTC. Djelovanjem logističkih tvrtki i angažmanom lokalne uprave, mogao

bi se postići cilj privlačenja robnih tokova na područje jednog od ova dva izabrana grada. Time bi se potaknuo gospodarski razvoj, izgradnja infrastrukture i bolja prometna povezanost sa ostalim dijelovima Hrvatske, ali izemljama izvan granica države.

Tablica 35. Usporedba dobivenih rezultata

Metoda	Optimalna lokacija
Metoda centra gravitacije	Okolica Osijeka
Metoda medijana	Okolica Osijeka
AHP metoda	Split
Electre metoda	Slavonski Brod
Promethee metoda	Osijek

Izvor: Izradila autorica

Može se uočiti kako se svakom metodom ne dobije identičan rezultat, bez obzira na iste kriterije koji su upotrebljeni. Razlog tomu je što su u svakoj pojedinoj metodi kriteriji ocijenjeni različitim intenzitetom.Prilikom određivanja kriterija i alternative, donositelj odluke procjenjuje koliko mu je svaki od kriterija bitan, te će u odnosu na to i krajnji rezultat biti različit.

6. ZAKLJUČAK

Robno transportni centri predstavljaju suvremen komplekse u kojima se obavljaju logističke operacije te se roba priprema za otpremu korisnicima. Primarni oblik ovakve vrste, ali i svih ostalih vrsta logističkih centara razvio se iz funkcije skladišta povećanjem logističkih operacija i funkcija, primjenom novih tehnologija i načina rada, što dovodi do ubrzanog protoka robe od proizvodnje pa do samog korisnika.

Odluka o odabiru lokacije robno transportnog centra usko je povezana sa zahtjevima korisnika. Potrebno je analizirati gdje su potrebe za uslugama transportne i skladišno terminalske djelatnosti, strukturu gospodarstva i potrošnje na alternativnim lokacijama te postojeće robne tokove. Postoji niz kriterija koji utječu na odabir lokacije logističkog centra, što je vidljivo u studiji slučaja koja je prikazana u ovom radu.

Analizu odabira lokacije potrebno je izvršiti matematičkim modelima koji sadrže više matematičkih metoda čiji se rezultati nadopunjuju. U studiji su izvršene analize medijan metodom, E-S-P paradigmom i AHP metodom. Medijan metoda koja pripada u skupinu kvantitativnih metoda uzela je u obzir samo jedan kriterij, geografski položaj deset zemalja, a krajnji rezultat te metode pokazao je kao najbolju alternativu Beograd, zbog najnižih transportnih troškova. AHP višekriterijska metoda uzima se u obzir cijeli niz kriterija i podkriterija, ali i rezultate prethodnih metoda. Konačni rezultat pokazao je kako je najbolja alternativa Slovenija.Može se zaključiti kako analizom samo jednog kriterija, bez obzira koliko on bio bitan, nije moguće dobiti optimalan rezultat.Gledajući geografski položaj, Srbija je optimalan izbor za lokaciju, no analizirajući niz kriterija proizlazi kako je optimalan izbor Slovenija.

Primjenom kvantitativnih metoda, centra gravitacije i metode medijana, dobiju se slični rezultati, no prilikom pokretanja kompleksnog projekta kao što je izgradnja robno transportnog centra, potrebno je uzeti u obzir i najmanje razlike. Sam postupak izvođenja razlikuje se u računu prosječne vrijednosti koordinatate matematičkom izrazu za izračun minimalnih troškova. Metodom medijana minimalni transportni troškovi su manji nego kod centra gravitacije, stoga je metoda medijana isplativija.

Kvantitativne metode pokazale su isto tako slične rezultate. Ahp metoda prikazala je kao optimalnu lokaciju za izgradnju robno transportnog centra grad Split, dok je na drugom mjestu Slavonski Brod. Electre metodom optimalna lokacija je Slavonski Brod, a Promethee

Osijek.Može se zaključiti da uzimanjem istih kriterija i alternative, metode iako imaju različit tok izvođenja, prikazuju slične rezultate.

Postoji cijeli niz matematičkih metoda koje se koriste za optimalan izbor lokacije, i pri takvim analizama uzimaju se u obzir mnogobrojni kriteriji. Isti tako, bitno je odabrati kvalitetne kriterije za analizu i oni ovise o području na kojemu se planira izgradnja robno transportnog centra. Dakako da je u gospodarski slabije razvijenim zemljama bitna stabilnost i sigurnost, ekonomski i robni tokovi, dok u razvijenijim zemljama prioritet će imati neki drugi kriteriji.

LITERATURA

Knjige i članci

1. Chan, F.T.S., Kumar N., Choy K.L.: Decision- making approach for the distribution centre location problem in a supply chain network using fuzzy- based hierarhical concept, Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B- Journal of Engineering Manufacture April 1., 2007. Vol. 221, No. 4 725- 739
2. Kesić B., Jugović A.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u riječkoj regiji, Pomorski zbornik, Rijeka, 2003.
3. Thay V.V., Grewal D.: Selecting the location of distributon centre in logistics operation a conceptual framework and case study, Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, 2005. Vol. 17, No. 3.
4. Tomić V., Marinković D., Marković D.: The Selection of Logistic Centers Location using Multi- criteria Comparison: Case Study oft he Balkan Peninslula, Acta Polytechnica Hungarica,Hungary, 2014. Vol.11, No.10
5. Zak J., Weglinski S. The Selection oft he Logistics Center location based on MCDM/A methodology, Transportation Research Procedia, 17th Meeting of The Euro Working Group on Transportation, Sevilla, 2014., Vol. 2., str. 555-564.
6. Zelenika, R: Logistički sustavi, Rijeka, 2005. Str 37

Ostali izvori

1. Mlinarić T.J.: skripta iz kolegija Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
2. Orešković, M.: Usporedba metoda za određivanje lokacija logističko distribucijskih centara, diplomski rad, Fakultet prormetnih znanosti, 2015.
3. Rožić T.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
4. Stanković R.: Nastavni materijali za kolegij Robno transportni centri, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Internet stranice

1. http://www.academia.edu/388213/Ranking_of_Strategic_Plans_in_Balanced_Scorecard_by_Using_Electre_Method (9.6.2016.)

2. http://www.bremenports.de/en/location/the-ports/bremen (15.7.2016.)
3. http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf (6.8.2016.)
4. http://www.eulogisticshub.com/about_us/logistics.html (25.5.2016.)
5. http://jamoreno.webs.ull.es/www/papers/ejor_pmed.pdf (5.05.2016.)
6. http://www.lukarijeka.hr/_Data/Files/194_201506081251975/LKRI%20%20Menad%C5%BEment%20prezentacija%20-%20FINAL%2008.06.2015..pdf (30.6.2016.)
7. http://nastava.sf.bg.ac.rs/pluginfile.php/10585/mod_resource/content/0/vezbe/LOKACIJSKI_MODELI.pdf (4.6.2016.)
8. http://old.foi.hr/CMS_library/studiji/pds/mps/predmeti/Promethee_Tihi.pdf (28.7.2017.)
9. http://www.quadranteeuropa.it/it/consorziozai.html (1.7.2016.)
10. http://www.smartlogisticscentrevenlo.com/en/smart-logistics-centre-venlo
11. http://tesla.pmf.ni.ac.rs/people/dragance/Knjiga2MO.pdf (3.7.2016.)
12. http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s1/Kvantitativne_1_Promet.pdf (3.7.2016.)
13. https://www.wfb-bremen.de/de/gewerbegebiet-gvz (1.8.2016.)
14. https://www.wfb-bremen.de/sixcms/media.php/120/Folder_GVZ_englisch_final%20%2005_03.pdf (10.8.2016.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Uže gravitacijsko područje luke Rijeke 7
Slika 2. Gravitacijske zone GVZ Bremen 10
Slika 3. Gravitacijske zone područja Limburg 11
Slika 4. Prikaz povezanosti Limburga sa gradovima u blizini 12
Slika 5. Shematski prikaz AHP metode 21

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Pitagorin poučak 16
Grafikon 2. Graf opće funkcije 31
Grafikon 3. Graf funkcije indiferencije H .....
Grafikon 4. Graf funkcije običnog kriterija .....
Grafikon 5. Graf funkcije kvazi kriterija 33
Grafikon 6. Graf funkcije kriterija s linearnom preferencijom 34
Grafikon 7. Graf funkcije kriterija s razinama konstantne preferencije .....
Grafikon 8. Graf funkcije kriterija sa linearnom preferencijom i područjem indiferencije 35
Grafikon 9. Graf funkcije Gaussovog kriterija .....
Grafikon 10. Grafički prikaz funkcije preferencije za robne tokove 57
Grafikon 11. Grafički prikaz funkcije preferencije za tržište rada 60
Grafikon 12. Grafički prikaz funkcije preferencije za tržište rada 61

POPIS TABLICA

Tablica 1. Saatyjeva skala 22
Tablica 2: Rezultati metode medijana 25
Tablica 3. Rezultati studije 27
Tablica 4. Početne vrijednosti lokacija za izgradnju RTC-a 38
Tablica 5. Poredak X koordinata 39
Tablica 6. Poredak Y koordinata 40
Tablica 7. Rješenja za izračun ukupnih transportnih troškova 41
Tablica 8. Karakteristike potencijalnih lokacija 42
Tablica 9. Usporedba zadanih kriterija 43
Tablica 10. Tablica normaliziranih vrijednosti 43
Tablica 11. Analiza robnog toka 45
Tablica 12. Normalizirane vrijednosti za robni tok 46
Tablica 13. Analiza infrastrukture 46
Tablica 14. Normalizirane vrijednosti infrastrukture 46
Tablica 15. Analiza vrijednosti tržišta rada 47
Tablica 16. Normalizirane vrijednosti tržišta rada 47
Tablica 17. Analiza vrijednosti za kriterij utjecaja luke 48
Tablica 18. Normalizirane vrijednosti kriterija utjecaj luke 48
Tablica 19. Analiza vrijednosti za kriterij gradske logistike 48

Tablica 20. Normalizirane vrijednosti kriterija gradska logistika 49
Tablica 21. Konačni rezultati 49
Tablica 22. Usporedba alternative I kriterija 51
Tablica 23. Težinski koeficijenti zadanih kriterija 51
Tablica 24. Elementi matrice podudarnosti 53
Tablica 25. Karakteristike alternativa i kriterija 56
Tablica 26. Vrijednosti preferencija za robne tokove 58
Tablica 27. Vrijednosti preferencija za infrastrukturu 59
Tablica 28. Vrijednosti preferencija tržišta rada 60
Tablica 29. Vrijednosti preferencija utjecaja luke 62
Tablica 30. Vrijednosti preferencija gradske logistike 63
Tablica 31. Konačni rezultati 63
Tablica 32. Indeksi preferencija 64
Tablica 33. Ulazni I izlazni tokovi 65
Tablica 34. Konačni rezultati 65
Tablica 35. Usporedba dobivenih rezultata 67

PRILOZI

Tablica 1.

	X	Y	V_i	R_i	$Xi * wi$	$Yi * wi$	w_i
Slavonski Brod	190	152	60	0.15	1710	1368	9
Karlovac	43	190	72	0.15	464.4	2052	10.8
Koprivnica	112	239	24	0.15	403.2	860.4	3.6
Osijek	232	199	60	0.15	2088	1791	9
Split	101	20	20	0.15	303	60	3
					∑4968.6	6131.4	35.4

Tablica 2.

	$(\overline{X - X_i})^2$	$(\overline{Y - Y_i})^2$	d_i
Slavonski Brod	550.9873	278.4950847	28.80073554
Karlovac	15258.89	454.1940127	125.3518429
Koprivnica	2973.181	4943.753157	88.97715428
Osijek	4286.729	918.8069167	72.1494015
Split	4293.772	22108.17249	162.4867524
	27363.56	28703.42166	236.7846737

Tablica 3.

$X_i * w_i$	$Y_i * w_i$	w_i/d_i
1710	1368	0.31249202
464.4	2052	0.08615749
403.2	860.4	0.04045982
2088	1791	0.12474116
303	60	0.01846304
4968.6	6131.4	0.14950292

Tablica 4.

$(\overline{X - X_i})^2$	$(\overline{Y - Y_i})^2$	d_i
550.9873	278.4950847	28.80073554
15258.89	454.1940127	125.3518429
2973.181	4943.753157	88.97715428
4286.729	918.8069167	72.1494015
4293.772	22108.17249	162.4867524
27363.56	28703.42166	236.7846737