Usporedba metoda za određivanje lokacije logističko distribucijskih centara

Orešković, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:119:173229

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-04**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

MATEJ OREŠKOVIĆ

USPOREDBA METODA ZA ODREĐIVANJE LOKACIJA LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKIH CENTARA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

USPOREDBA METODA ZA ODREĐIVANJE LOKACIJA LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKIH CENTARA

COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING THE LOCATION OF LOGISTICS AND DISTRIBUTION CENTERS

Mentor: prof. dr. sc. Kristijan Rogić
Student: Matej Orešković, 0132513455

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK

Logističko-distribucijski centri kao bitni infrastrukturni elementi opskrbnog lanca predstavljaju mjesta visokog stupnja centralizacije robnih tokova i poslovne kooperacije. Odabir konačne lokacije logističko-distribucijskog centra od presudnog je značaja za stvaranje učinkovite distribucijske mreže.

Ovaj rad obuhvaća teorijsku analizu osobina i pravila izvođenja različitih metoda za određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra koji su aplicirani na primjeru određivanja jedne lokacije u svrhu prikazivanja složenosti postupaka i usporedbe metoda na razini sljedećih grupa: gravitacijske metode (usporedba metoda centra gravitacije i medijan), metode višekriterijskog odlučivanja (usporedba metoda AHP-e i ELECTRE) i kombinatorne metode (usporedba metoda bodovnog ocjenjivanja alternativnih lokacija i vrijednosne analize). Rezultati dobiveni izvedbom lokacijskih metoda matematičkim putem ukazuju na razlike u rezultatima primjenom pojedinih metoda, ali i na visok stupanj točnosti i konzistentnosti rješenja.

KLJUČNE RIJEČI: logističko-distribucijski centri; lokacija; višekriterijsko odlučivanje

ABSTRACT

Logistics and distribution centres as important infrastructure elements of supply chain are places of high degree of centralization of cargo flows and business cooperation. A final location for logistics and distribution center is critical for creating effective distribution network.

This paper includes theoretical analysis of characteristics and implementation rules of different methods for determining the location of logistics and distribution center, which are applied in the case of determining a location for the purpose of showing complexity procedures and the methods of comparison at the level of following groups: gravitational methods (comparison of Centre of gravity and Median methods), multicriteria decision making methods (copmarison of AHP's and ELECTRE methods), and combinatorial methods (comparison of scoring evaluation of alternative locations method and value analysis). The results matematically obtained from the performance of location methods indicate the differences in the results by using of certain methods, as well as a high degree of accuracy and consistency of product.

KEY WORDS: logistics and distribution centers; location; multicriteria decision making

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. RELEVANTNE ZNAČAJKE I FUNKCIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKOG CENTRA 3
2.1. Usporedna analiza definicija LDC-a 8
2.2. Razvoj logističko-distribucijskih centara 11
2.3. Zajednička obilježja LDC-a 14
2.4. Organiziranje logističko-distribucijskih centara 15
2.4.1. Struktura distribucijske mreže 15
2.4.3. Strategije formiranja logističko-distribucijskih centara 18
2.4.4. Modeli upravljanja logističko-distribucijskim centrima 19
2.4.4.1. Model ograničenog upravljanja 20
2.4.4.2. Model djelomično ograničenog upravljanja 21
2.4.4.3. Model potpunog upravljanja 22
2.5. Kategorizacija logističko-distribucijskih centara 23
3. LOCIRANJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKIH CENTARA 28
3.1. Problematika i klasični postupak određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra 28
3.2. Lokacijska teorija 30
3.3. Identifikacija parametara lociranja logističko-distribucijskog centra 35
3.4. Identifikacija kriterija za lociranje logističko-distribucijskog centra 36
4. METODE ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKIH CENTARA 38
4.1. Povijesne gravitacijske metode za određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra 39
4.2. Klasična metoda centra gravitacije ili metoda centroida 40
4.3. Metoda medijan 44
4.4. Metoda analitičkog hijerarhijskog procesa 46
4.4.1. Teorijske osnove AHP-e metode 46
4.4.2. Matematički model 48
4.4.3. Konzistentnost AHP-e metode 50
4.5. Metoda ELECTRE 52
4.5.1. Osnovna obilježja ELECTRE metode 53
4.5.2. Modeliranje preferencija 54
4.5.3. Koraci izvođenja ELECTRE metode 55
5. METODE ZA OCJENJIVANJE ALTERNATIVNIH LOKACIJA LOGISTIČKO-DISTIRBUCIJSKOG CENTRA 58

5.1. Metoda bodovnog ocjenjivanja 58
5.2. Metoda koja razmatra prijevozne troškove 59
5.3. Vrijednosna analiza 60
5.4. Metoda koja razmatra investicijske troškove 61
6. USPOREDBA METODA ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKOG CENTRA 63
6.1. Usporedba gravitacijskih metoda 65
6.2. Usporedba metoda višekriterijskog odlučivanja 71
6.3. Usporedba alternativnih (kombinatornih) metoda 83
7. ZAKLJUČAK 87
LITERATURA 90
POPIS SLIKA 93
POPIS TABLICA 94
POPIS GRAFIKONA 94
PRILOZI 95

1. UVOD

U sklopu razvoja međunarodne trgovine, porast potražnje korisnika za kvalitetnim i integriranim logističkim uslugama utjecao je istodobno na razvoj prijevozničkih djelatnosti i formiranje logističko-distribucijskih centara u cilju pravovremenog ispunjenja svih logističkih i distribucijskih procesa koji se inicijaliziraju od strane korisnika logističkog centra. U pravilu, kolebanje tržišnih zahtjeva, koje je proporcionalno sa rastom ili padom kupovne moći, pa time i gospodarskim stanjem, prelazi na dinamiku promjena korisničkih zahtjeva na koje već ionako zastarjeli logistički sustavi sve teže i teže odgovaraju, što implicira organizacijsku neefikasnost. Organizacijska efikasnost najvažniji je element financijskog sektora i ekonomski pokazatelj funkcioniranja logističkih i prijevoznih procesa. U svrhu djelotvornog ispunjavanja današnjih korisničkih zahtjeva, nužno je implementirati suvremeni logistički sustav koji će sa tehničkog, tehnološkog, ekonomskog, organizacijskog i ekološkog aspekta besprijekorno omogućiti provedbu isporuke narudžbe ili će, u suprotnom scenariju poduzeće preći u stečajnu fazu, ali ne nužno bankrotirati. Između ostalog, da bi poduzeće opstalo pored snažnog utjecaja konkurencije, nužno je integrirati široku lepezu raznovrsnih logističkih i distribucijskih usluga te usluga dodane vrijednosti kroz čiju provedbu se ostvaruju dodatni prihodi što poboljšava bilancu poduzeća.

Međutim, nije integracija kompatibilnog logističkog sustava u već postojeći sustav jedini problematičan zadatak i izazov za mala, srednja i velika poduzeća, već i determinacija optimalne lokacije logističko-distribucijskog centra u kojoj, s jedne strane, eksploatacija vlastitih resursa doprinosi ekonomskom rastu poduzeća, a s druge strane, generiraju se minimalni ukupni troškovi logističko-distribucijskog centra. Time se želi naglasiti da lokacija i skladišni kapaciteti imaju značajnu ulogu u smislu efikasnosti i efektivnosti suvremenog logističkog sustava. Određivanje lokacije je, ovisno o metodi, složen i iterativan postupak čija provedba zahtjeva identifikaciju specifičnih čimbenika, koji su prisutni unutar gravitacijske zone centra, i vrednovanje kriterija potencijalnih lokacija. Stoga, u svrhu rješavanja realnog lokacijskog problema primjenjuju se raznovrsne lokacijske metode, koje su predmet istraživanja ovog diplomskog rada.

Metode matematičkog programiranja u svrhu određivanja lokacije skladišnog objekta počele su se intenzivno primjenjivati krajem 20. stoljeća. Premda su bile ranije razvijene primjenjivale su se u druge komercijalne svrhe, ali do tada nikako u prometne svrhe. Svrha diplomskog rada za navedenu temu je usporediti metode za određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra, koji su analizirani u tematskom i najvažnijem dijelu diplomskog rada.

Diplomski rad se fokusira na ciljano utvrđivanje zajedničkih svojstava i razlika u postupcima rješavanja realnog lokacijskog problema analiziranih metoda za određivanje čvora u razgranatoj logističkoj mreži. Osim toga, diplomski rad ukazuje na važnost primjenjivanja lokacijskih metoda za potrebe pozicioniranja logističkih centara u odnosu na empirijske metode koje su utemeljene bez matematičke podrške to donose velika pitanja u pogledu egzaktnosti rješenja.

Obzirom da Europska prometna politike potiče razvoj logističko-distribucijskih centara zasnovani na operativnom i administrativnom djelovanju, lokacijske metode postepeno postaju ključan i nezaobilazni alat koji omogućava racionalnu eksploataciju resursa i racionalno opskrbljivanje korisnika usluga logističko-distribucijskog centra te je njima dan znatan doprinos u prethodnim istraživanjima i studijama slučaja. Istraživanja su najviše doprinijela u razvijanju metoda višekriterijskog odlučivanja, od kojih se mogu istaknuti: AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, vrijednosna analiza i drugi. Osim navedenih, razvijeno je nekoliko gravitacijskih metoda, od kojih se mogu izdvojiti: centar gravitacije, multicentar gravitacije i medijan. Međutim, najvećim se dosegom smatraju izvedbe programskih (softverskih) alata navedenih metoda, koji pojedincu olakšavaju izvođenje složenih zadataka, ali upućuje i na njihove pogreške u procjenjivanju.

Kompozicija diplomskog rada sastoji se od sljedećih dijelova: Uvod, Relevantne značajke i funkcije logističko-distribucijskih centara, Lociranje logističko-distribucijskih centara, Metode za određivanje lokacije logističko-distribucijskih centara, Metode za ocjenjivanje alternativnih lokacija logističko-distribucijskih centara, Usporedba metoda za određivanje lokacija logističko-distribucijskog centra i Zaključak.

U svrhu kvalitetne izrade diplomskog rada autor se od literature poslužio knjigama, studijama objavljenim u znanstvenim člancima, nastavnim materijalima fakulteta i drugim dokumentima.

2. RELEVANTNE ZNAČAJKE I FUNKCIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKOG CENTRA

Ekonomski razvijene zemlje, ili barem one s visokim bruto domaćim proizvodom po glavi stanovnika, oduvijek su raspolagale sredstvima za održavanje stabilnosti gospodarske klime. Stimulacijom privatnog sektora poslovni subjekti su bili u mogućnosti raspodijeliti financijska sredstva u cilju učvršćivanja reputacije na domaćem tržištu ili u proširenje industrijsko-poslovne mreže na inozemno tržište, što je u određenoj mjeri uvjetovala liberalizacija tržišta i deregulacija u prometu. Međutim, takav pothvat ne bi bio moguć bez efektivne organizacije, profitabilnog plana i programa rada i strateških smjernica stvaranja prednosti na konkurentnom tržištu. Sredinom 20. stoljeća ujedinjene države, kao što su SAD-e ili zemlje članice Evropske Ekonomske Zajednice[1] odobrile su liberalizaciju tržišta u svrhu organiziranja zajedničkog tržišta, koordiniranja gospodarske politike, međusobne robne razmjene u prometnom sektoru radi podizanja životnog standarda[2], dok su pojedine zemlje zabranile liberalizaciju tržišta zbog političke sigurnosti, zbog čega se nisu mogle integrirati u međunarodnu gospodarsku mrežu.

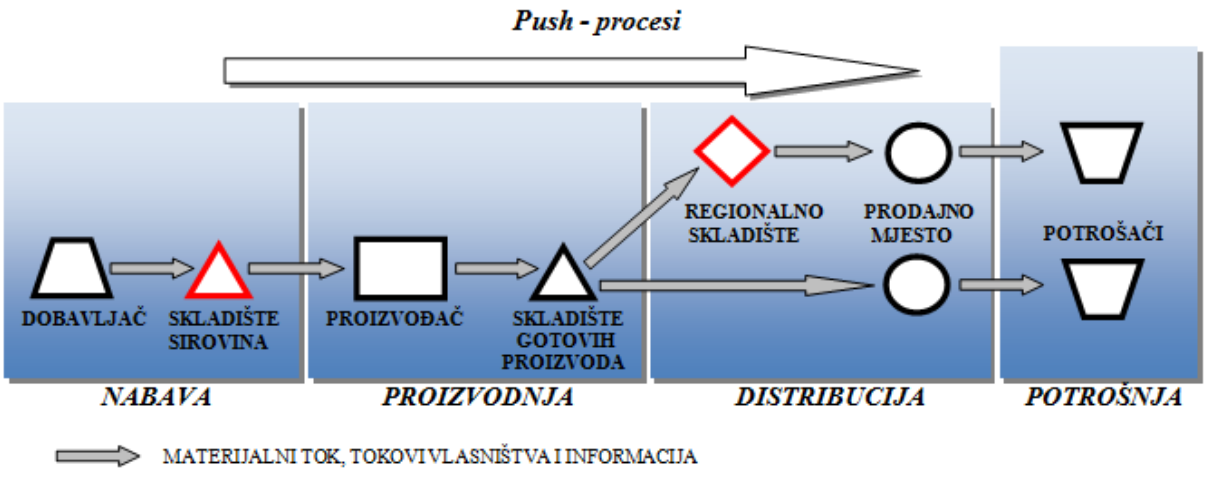
Tijekom razvitka logističke industrije logistički subjekti su uspostavili konvencionalni opskrbni lanac, koji je opsluživao globalnu masu potrošača[3]. U nekim drugim izvorima spominje se i kao tradicionalni opskrbni lanac. Obzirom da je prethodno spomenuti lanac fundamentalni koncept suvremene verzije, njegova strategija se nije temeljila na adekvatnom, efektivnom i konkurentnom djelovanju. Prema *Porteru,* strategija konvencionalnog opskrbnog lanca se temeljila na tri međusobno ovisna čimbenika koja su pomagala u stvaranju poslovnih aktivnosti[4]: *cijena, varijabilnost i fokus.* Promatrajući ih kao čimbenike poslovnih strategija, zaključio je da su spomenuti čimbenici zajednička obilježja svim poslovnim subjektima, proizvodima, uslugama, pa i demografiji. Budući da komercijalne aktivnosti obuhvaćaju prodaju *(cijena)* različitih proizvoda i usluga *(varijabilnost)* privatnim korisnicima *(fokus)*, zajednička su obilježja i svim poslovnim aktivnostima.

Koncept tradicionalnog opskrbnog lanca bio je utemeljen na upravljanju procesima u cilju ispunjenja zahtjeva krajnjih potrošača, inicijalizacijom unutrašnjih procesa proizvodnje

[1] Evropska ekonomska zajednica ili EEZ (*eng. European Community - EC*) osnovana je u ožujku 1957.g. u Rimu potpisivanjem ugovora od strane šest država članica Evropske zajednice za ugljen i čelik (Zapadna Njemačka, Nizozemska, Belgija, Luksemburg, Francuska i Italija).
[2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Europska_ekonomska_zajednica
[3] http://www.supplychainmusings.com/2010/11/conventional-supply-chain-strategies.html
[4] Ibidem.

gotovih proizvoda i potiskivanjem istih kroz logistički lanac prema kupcu, bez zaprimanja povratnih informacija koje se odnose na korisničke zahtjeve ili specifikacije[5].

Prema tome, može se reći da su logistički subjekti opskrbnog lanca provodili *"push"* strategiju, bez provođenja analize *"pull"* procesa koje impliciraju aktivnosti inicijalizirane od strane kupaca, a koje su se kasnije pokazale relevantnima u planiranju nabave, proizvodnje i distribucije zbog krajnje razlike između ponude i potražnje što je rezultiralo nedostatkom ili otpisom viška proizvedenih proizvoda. U svrhu prodajne realizacije viška zaliha, radi ostvarivanja dohotka na proizvedene proizvode, bilo je nužno poznavati realnu potražnju krajnjih potrošača u informacijskom formatu. Kao što je gore spomenuto da osobine tržišta značajno utječu na dizajniranje logističkih procesa opskrbnog lanca, upravo se današnji suvremeni opskrbni lanac temelji na planiranju *"pull"* strategije koja se zasniva na praćenju stvarne potražnje krajnjih kupaca, prema kojoj se usklađuju i koordiniraju nabava, proizvodnja i distribucija[6]. Budući da *"push"* strategija rezultira usmjerenim protokom dobara od dobavljača prema krajnjem potrošaču, u suprotnom smjeru *"pull"* procesi inicijaliziraju protok informacija od krajnjeg potrošača prema proizvođaču kroz strukturu opskrbnog lanca, čime je suvremeni logistički sustav postao nezamisliv bez kvalitetne informacijske podrške u donošenju poslovnih odluka[7].

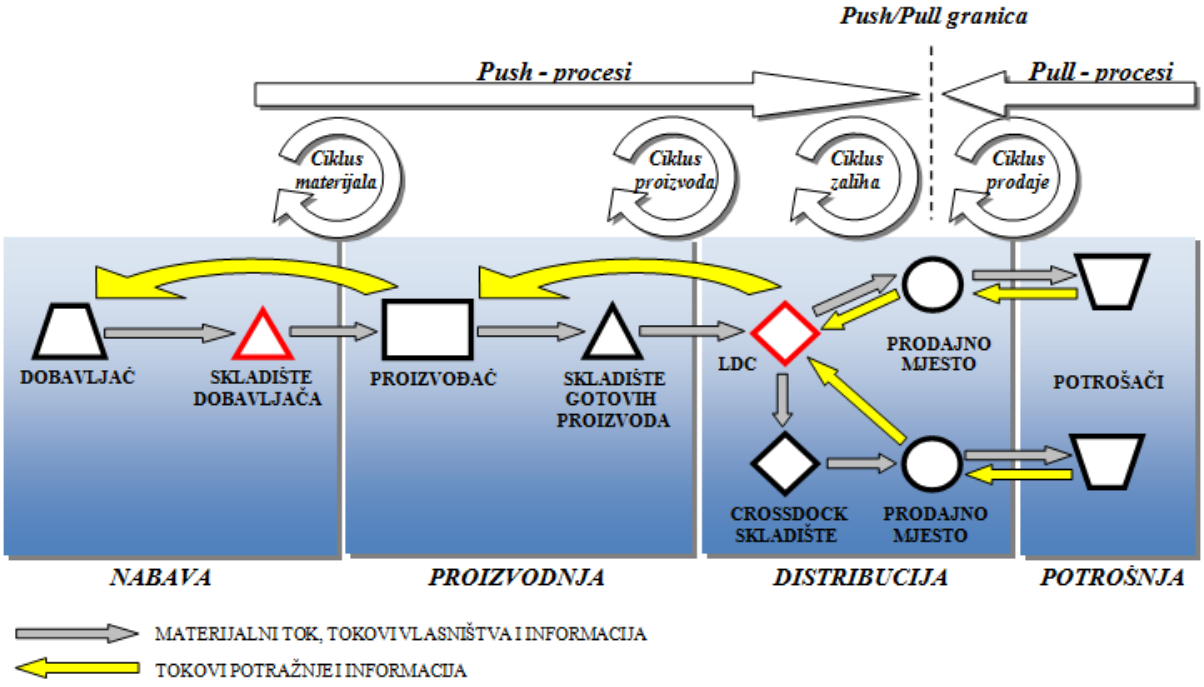


Slika 1. Koncept tradicionalnog opskrbnog lanca

Izvor: Izradio i prilagodio autor

[5] Ibidem.
[6] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
[7] Ibidem.

Usporedbom tradicionalnog i suvremenog koncepta otkrivaju se diferencije u svim fazama i ciklusima opskrbnog lanca (Slika 1. i 2.). Proučavanjem literature ustanovilo se da su, sa aspekta funkcioniranja cjelokupnog sustava, najveće promjene uslijedile u segmentu distribucije u kojem su nastali novi "logistički igrači" koji su kreiranjem novih distribucijskih kanala učvrstili vezu između proizvodnje i potrošnje te uspostavili konzistentnu logističku mrežu[8]. Osim navedenoga, promjene su pozitivno utjecale na stvaranje koncepta suvremenog opskrbnog lanca[9], čije su upravljačke karakteristike navedene u Tablici 1. Time je distribucijski sustav postao predmetom brojnih znanstvenih i praktičnih istraživanja i eksperimenata koje su se implementirale u poslovnu sferu, kao što su[10]: modeliranje poslovnih procesa, odabir lokacije distribucijskog centra, upravljanje voznim parkom, integracija različitih logističkih funkcija i računalnih tehnologija, itd.



Slika 2. Koncept suvremenog opskrbnog lanca

Izvor: Izradio i prilagodio autor

[8] http://www.supplychainmusings.com/2010/11/conventional-supply-chain-strategies.html
[9] Ibidem.
[10] http://www.intechopen.com/books/supply-chain-management-pathways-for-research-and-practice/lean-supply-chain-practices-and-performance-in-the-context-of-malaysia

Tablica 1. Usporedba upravljačkih karakteristika tradicionalnog i suvremenog opskrbnog lanca

Tradicionalni opskrbni lanac	Suvremeni opskrbni lanac
Neusklađenost između subjekata uzrokovalo je nepravilno planiranje	Konzistentna logistička mreža dovodi do financijske uštede i veće profitabilnosti
Orijentiranost na individualne performanse bez posredovanja	Dugoročni plan napretka i strateško planiranje su usklađeni s misijom i vizijom kompanije
Nedostatak dugoročnog plana napretka i fokusa	Konzistentna veza između dobavljača i posrednika
Podržan zastarjelim sustavom s niskom integracijom među različitim dijelovima	Kontinuirano praćenje realnih postupaka u intervalima radi poboljšanja performansi i efikasnosti
Nedostatak određivanja vizije i misije	Reduciranje viška zaliha kroz efikasno upravljanje procesima opskrbnog lanca
	Individualni sustavi su međusobno pravilno integrirani

Izvor: http://crackmba.com/traditional-vs-new-supply-chain-models/

S aspekta pojedinog logističkog subjekta, kompanije su se orijentirale izradi individualne strategije i integraciji procesa i funkcija u postojeću organizacijsku strukturu, kao što su planiranje logističkih i marketinških aktivnosti, planiranje materijalnih potreba *(MRP I)*, upravljanje resursima, itd. Spoj tehničke, tehnološke i organizacijske sposobnosti poduzeća, uključujući i vještine ljudskih potencijala, čini osnovni preduvjet za efikasan odgovor uslijed stvarne i kolebljive potražnje na tržištu. Međutim, krajnji potrošači, na temelju zadovoljene razine usluge, ocjenjuju funkcioniranje distribucijskog sustava u užem smislu, odnosno opskrbnog lanca u širem smislu. U cilju smanjenja varijabilne količine nezadovoljnih potrošača određenim proizvodom ili uslugom snažan utjecaj imaju odluke menadžmenta poduzeća, čija se važnost promovira u srodnim situacijama.

Nositelji distribucijskih procesa su veletrgovci, malotrgovci i logistički operateri koji pružaju konzultantske, prijevozne, skladišne i distribucijske usluge te specifične usluge dodane vrijednosti[11]. Distribucija kao faza opskrbnog lanca je s razvojem otišla vrlo daleko. Od definiranja strukture sustava koju čine fizička distribucija i kanal distribucije, zatim koncepcije, faza i čimbenika oblikovanja distribucijske mreže, do raznovrsnih distribucijskih kanala u nacionalnom i međunarodnom prometu[12], jer je distribucija vrlo širok pojam koja obuhvaća optimizaciju prijevoznih, skladišnih i distribucijskih procesa, kao što su: transportno planiranje ruta, model maksimalne iskoristivosti transportnih kapaciteta, metode

[11] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
[12] Ibidem.

najkraćeg komisionog puta, metode uskladištenja i komisioniranja, model planiranja skladišnih kapaciteta i odabira prikladnog unutarnjeg transporta, sustavi za praćenje voznog parka i razine zaliha.

Kanal distribucije povezuje djelotvorne logističke operatere koji upravljaju određenim skladišnim objektima te omogućuju protok roba ili usluga do krajnjih potrošača. Među skladišnim objektima ubraja se logističko-distribucijski centar, koja mu je zadaća omogućiti operativni prijenos gotovih proizvoda i njegova vlasništva od proizvodne do maloprodajne mreže[13]. Oba objekta, logističko-distribucijski centar i prodajni centar, tvore fizičku distribuciju. Međutim, logističko-distribucijski centri ne sudjeluju samo u procesima distribucije, već i u procesima povrata proizvoda prema proizvođaču ili drugim odgovarajućim institucijama[14].

Proučavanjem literature, utvrđeno je da optimizaciju operativnih procesa nije lako postići bez prethodnog odabira optimalne lokacije logističko-distribucijskog centra[15]. Na osnovu toga može se zaključiti da ako je lokacija blizu optimalnoj, u budućnosti će biti lakše postići optimizaciju pojedinih procesa distribucijskog sustava. Lociranje logističkog centra je vrlo složen postupak, jer je lokaciju potrebno uskladiti s više logističkih lanaca, a ne samo s jednom[16]. U praksi je već provjereno i potvrđeno da lokacija logističko-distribucijskog centra značajno utječe na postupak oblikovanja distribucijske mreže, u kojoj se prvo valoriziraju potencijalne lokacije na području veće površine (makro-razina), a potom se donosi konačna odluka o lokaciji u čijem postupku se analiziraju utjecajni čimbenici i vrednuju u više kriterija[17]. Ako je makro-analiza utjecajnih čimbenika na potencijalnu lokaciju pozitivno ocjenjena, tada je prihvatljivo logističko-distribucijski centar smjestiti u blizini gusto naseljenog teritorija, gdje količina, struktura i lokacija korisnika usluga određuju gravitacijsku zonu samoga centra.

U nastavku ovog rada slijedi upoznavanje s definicijama logističko-distribucijskog centra, njegovim korisničkim uslugama, zajedničkim obilježjima, ciljevima, kategorijama, modelima upravljanja i organizacije.

[13] Ibidem, str. 254.
[14] Ibidem, str. 254.
[15] Klapita, V., Švecová, Z.: Logistics centre location, Transport, Vol. 21, No. 1, 2006.
[16] Ibidem.
[17] Ibidem.

2.1. Usporedna analiza definicija LDC-a

Koncept logističko-distribucijskog centra, kao središnja institucija distribucijske mreže i glavni infrastrukturni element logističkog lanca, razvio se iz konvencionalnih funkcija skladišnog objekta.[18] Logističko-distribucijski centar raspolaže sa stručnim kadrom koji posjeduje kvalitetne vještine, znanja i kompetencije za donošenje poslovnih odluka te raspolaže sa širim spektrom djelovanja. Osim standardnih funkcija skladišnog objekta, kao što su: nabava, skladištenje, upravljanje zalihama, manipulacije, prijevoz i isporuka, logističko-distribucijski centar raspolaže i sa dodatnim funkcijama koje povećavaju vrijednost robe, čime pružaju potpunu integriranu logističku uslugu klijentima[19]. Sa znanstvenog stajališta, dosad nije utvrđena jasna razlika između klasičnih distribucijskih i logističko-distribucijskih centara, zbog pogrešne terminologije, ali se u današnjoj praksi klasični distribucijski centri stavljaju u funkciju *cross-dock* skladišta[20], koji se napajaju iz logističko-distribucijskih centara. Prema tome, po hijerarhiji institucija u distribucijskom sustavu, logističko-distribucijski centar je iznad klasičnog distribucijskog centra, gdje potonji imaju ulogu opskrbe udaljenih tržišta.

Iako nema utvrđen međunarodni termin, u literaturi se najčešće spominje termin „logistički centar“ *(eng. Logistic center),* jer objedinjuje (centralizira) operativne i poslovno-informacijske aktivnosti distribucijskog sustava koje osiguravaju njegovu poslovnu učinkovitost. Prema tome, svaka nacija je dodijelila jedinstveni naziv centru koji se razlikuje od drugih nacija. Na primjer[21]:

a) u Velikoj Britaniji: „Freight Village“;
b) u Francuskoj: „Plate Forme Logistique“;
c) u Njemačkoj: „Güterverkehrszentrum“;
d) u Italiji: „Interporto“;
e) u Danskoj: „Transport Centre“.

[18] Knežević, B., Habuš, I., Knego, N.: Distribucijski centar kao izvor poslovne učinkovitosti - Empirijski uvid, Sveučilište u Osijeku, Ekonomski fakultet, Poslovna logistika u suvremenom menadžmentu X/2010, Osijek, 2010., str. 149.
[19] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
[20] *Cross-dock* skladišta su posredni objekti između logističko-distribucijskih centara i maloprodajne mreže, koji omogućuju kontinuirani tok robe isključujući potrebu konvencionalnog skladištenja. Njihov princip rada temelji se na sortiranju ulaznih pošiljaka prema potrebama pojedinih naručitelja robe.
[21] Meidute, I.: Comparative analysis of the definitions of logistics centre, Transport, Vol. 20, No. 3, 2005., str. 106.

Prvi korak u otkrivanju značenja termina »logistički centar« je separacija složenice i individualna analiza prvog i drugog pojma. U gospodarskom smislu, logistika je znanstvena disciplina koja se bavi djelotvornim kretanjem materijalnih dobara u logističkom sustavu, tj. kroz strukturu opskrbnog lanca[22]. Međutim, u nastavku slijedi postepeno nadograđivanje i proširivanje definicije logistike kao gospodarske djelatnosti od strane različitih autora[23]:

- D. J. Bowersox proširio je prethodnu tvrdnju dodajući kako logistika osigurava slijed zaliha i tokova opskrbe, počevši od inicijalnih izvora sirovina, preko proizvodnje i oblikovanja u gotovi proizvod koji završava u rukama krajnjeg kupca.
- J. M. Masters se referira na informacijske i kontrolne elemente. Tvrdi kako je logistika cjelokupno upravljanje tokovima sirovine, uključujući informacijske i kontrolne sustave, kao i sve konvencionalne funkcije kojima započinje opskrba sirovinom i završava isporuka gotovog proizvoda krajnjem kupcu.
- Prema R. Palsaitisu logistika je kontrola tokova sredstava u opskrbnom lancu, kao i upravljanje prijevozom, skladišnim objektima i ostalim procesima između proizvodnje i potrošnje. Pojam centar definira se kao točka kojemu gravitiraju specifični tokovi. U logističkom kontekstu riječi, centar definira središnji čvor logističke mreže u kojem se koncentriraju logističke aktivnosti. U organizacijskom smislu, centar predstavlja kontrolno tijelo odakle se nadgledaju realna događanja u logističkom lancu, i upravno tijelo odakle proizlaze ideje, odluke i poslovna rješenja. Iako različita tumačenja logistike i centra od strane gore navedenih autora djeluju složeno i zbunjujuće, bitno je istaknuti da je logistički centar samo objekt u kojem se koncentriraju robni tokovi.[24]

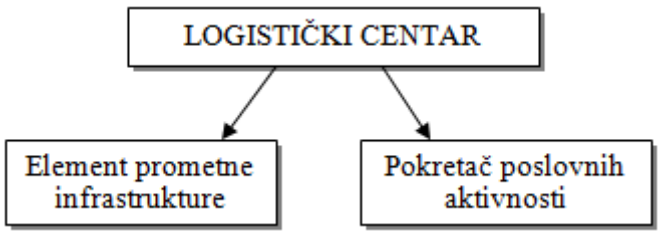
Razmatrajući s generalnog aspekta, koncept logističkog centra obuhvaća infrastrukturni i poslovni pristup[25], kao što je ilustrirano na Slici 3. Jedan dio autora sklon je definiciji logističkog centra kao elementa prometne infrastrukture, dok drugi dio opisuje logistički centar kao pokretača intenzivnih poslovnih aktivnosti. U nastavku slijedi autorski doprinosi u definiranju logističkog centra[26]:

- D. A. Tsamboulas definira logistički centar kao integrator potencijalnih vidova prijevoza sposobnih za promicanje intermodalnog prijevoza. U svojoj definiciji

[22] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
[23] Meidute, I.: Comparative analysis of the definitions of logistics centre, Transport, Vol. 20, No. 3, 2005., str. 106.
[24] Ibidem, str. 107.
[25] Ibidem, str. 107.
[26] Ibidem, str. 107.

Tsamboulas jasno povezuje logistički centar s intermodalnim terminalom kao osnovnim infrastrukturnim elementom intermodalnog prijevoznog lanca, pri čemu tvori čvor u kojem prekrcaj tereta zahtjeva određeni prostor.

- Ne mijenjajući smisao prethodne tvrdnje J. W. Konings naglašava da je organizacija logističkog centra u međusobnoj vezi sa strukturom intermodalnog prijevoznog lanca kojeg prijevoznik razvija i upravlja.
- Među prvima koji je istaknuo da su prijevoz, rukovanje, pohranjivanje, sortiranje i obilježavanje ključne funkcije logističkog centra bio je M. Krzyanowski.
- Prema ruskom autoru, I. B. Apatjevu, logistički centar je višenamjenski terminal kojemu je glavna funkcija pružanje skladištenja i prijevozno-otpremnih usluga utemeljeni na organizacijskoj, ekonomskoj, informacijskoj i pravnoj podršci.
- U širem smislu, A. T. Prokofveja tvrdi da je logistički centar ključni sustavni element regionalnog i međunarodnog makrologističkog sustava uključen u globalno odvijanje robnih tokova kroz opskrbni lanac.
- Udruga europskih logističkih centara (*eng. European Association of Freight Villages - EUROPLATFORM*) definira logistički centar kao područje u kojem logistički operateri izvode niz aktivnosti vezane uz prijevoz, logistiku i distribuciju dobara, bilo u nacionalnom ili međunarodnom provozu roba.



Slika 3. Istraživački pristupi konceptu logističkog centra

Izvor: Izradio i prilagodio autor

U poslovnom istraživačkom pristupu funkcije logističkog centra shvatile su se kao mjere kreiranja i sigurnog odvijanja poslovnih aktivnosti. Zagovaratelji ovakvog pristupa bili su[27]:

[27] Ibidem, str. 108.

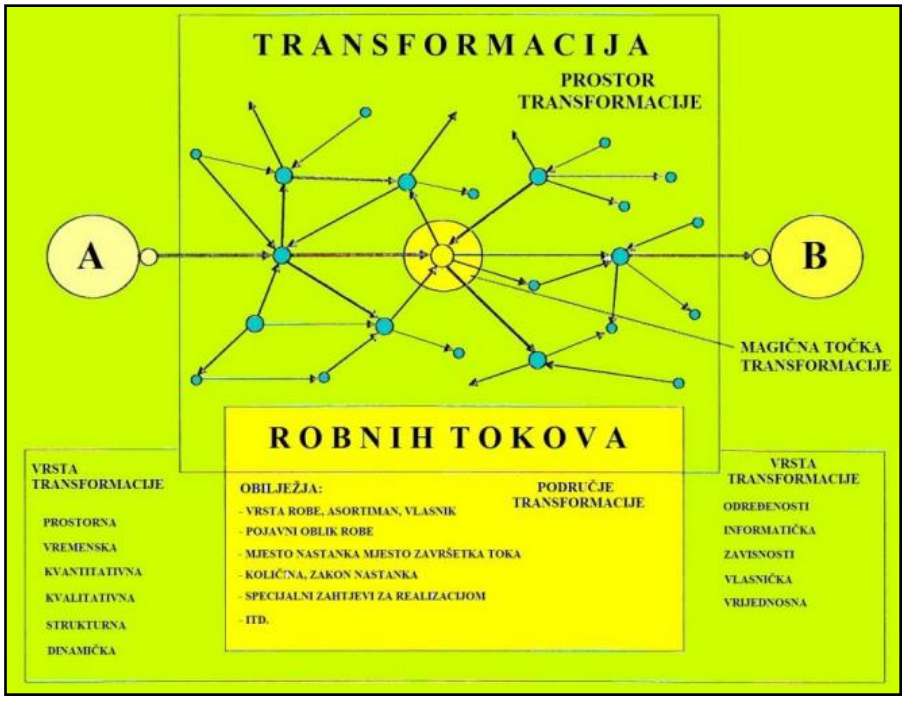
- J. Goldfogel, direktor jedne od najvećih i najstarijih američkih logističkih kompanija *„ACME DISTRIBUTION“*. Definirao je logistički centar kao poslovnu mjeru koja omogućava poticaj za dobar posao i daljnji razvoj.
- Udruga Manhattan, koja ujedinjuje 16 davatelja logističkih usluga, definirala je logistički centar kao središte koje nudi priliku za poticanje integriranih logističkih usluga. Današnje globalno poslovanje, pojava neočekivanih korisničkih zahtjeva i nekonzistentnost tržišta prijevoza omogućava logističkom centru pružanje integriranih logističkih usluga, kako bi osigurao kontinuitet u poslovanju i pružio mogućnost optimizacije opskrbnog lanca u skladu s potrebama.
- Sličan aspekt gledanja imaju i menadžeri intermodalnog logističkog centra *Mizushima*, koji svrhu logističkog centra vide u poticanju međunarodnih poslovnih aktivnosti i regionalnog gospodarskog rasta.
- Prema R. Palsaitisu logistički centar egzistira na temelju generiranja poslovnih aktivnosti koje proizlaze iz spektra logističkih usluga. Funkcioniranje logističkih centara pokazuje da ne osiguravaju samo poslovni razvoj, nego i ostvaruju gospodarski učinak u smještenoj regiji.

2.2. Razvoj logističko-distribucijskih centara

Distribucijski centri se kao elementi distribucijske mreže prvi puta integriraju u logistički lanac između 1970. i 1980. godine uslijed intenzivnog razvoja poduzetništva i potražnje za zemljištem s adekvatnom infrastrukturom i pogodnom geoprometnom lokacijom. U tom vremenskom periodu, kao primjer se može navesti otvorenje prvog distribucijskog centra najpoznatijeg svjetskog malotrgovca Wall-Mart 1970. godine radi smanjenja logističkih troškova i povećanja učinkovitosti upravljanja zalihama.

Proučavanjem literature, utvrđeno je da je do kvalitativnog napretka u području transportne i skladišne logistike došlo je s centralizacijom logističkih procesa, kao i uvođenjem sveobuhvatne tehničke standardizacije, napose kod prijevoznih sredstava i teretnih jedinica[28]. U sljedećim desetljećima kompanije su se orijentirale na planiranje procesa i upravljanje resursima kako bi ostale vjerne taktičkim odlukama i strateškim smjernicama koje su dolazile od menadžmenta.

[28] http://www.intechopen.com/books/supply-chain-management-pathways-for-research-and-practice/lean-supply-chain-practices-and-performance-in-the-context-of-malaysia



Slika 4. Transformacije robnih tokova

Izvor: http://files.fpz.hr/Djelatnici/tmlinaric/Robno-transportni-centri-skripta.pdf

Pojavljivanjem brojnih posrednika u opskrbnom lancu, koji obavljaju specijalne djelatnosti, kreirali su različite vrste kanala distribucije u skladu sa karakteristikama roba, unaprijedili tržište, kao i cijeli menadžment opskrbnog lanca. S integracijom informacijskih tehnologija menadžment opskrbnog lanca doživljava novu evoluciju kroz *„e-Business“*, *„e-Marketing“*, virtualnu organizaciju i harmonizaciju opskrbnog lanca koji ubrzavaju procese i omogućuju raspolaganje pravim informacijama u pravom trenutku[29]. Današnji prometni sektor teži daljnjem unaprjeđenju makrologističkog sustava, posebno u pogledu tehnologije i organizacije.

Pod kontinuiranim pritiskom procesa globalizacije logističko-distribucijski centri postali su specijalizirane institucije u funkciji organizacije nesmetanog protoka dobara. Njihova misija poslovanja orijentirana je na javno davanje logističko-distribucijskih usluga u svrhu efikasne i efektivne opskrbe, kao i maksimalnog zadovoljenja potražnje kupaca[30]. Prema Mlinariću[31], logističko-distribucijski centar djelotvorno povezuje tokove makro-

[29] http://www.intechopen.com/books/supply-chain-management-pathways-for-research-and-practice/lean-supply-chain-practices-and-performance-in-the-context-of-malaysia
[30] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
[31] http://files.fpz.hr/Djelatnici/tmlinaric/Robno-transportni-centri-skripta.pdf

distribucije i mikro-distribucije u kojem se očituje funkcija transformacije tokova, kao što je prikazano na Slici 4.

Tablica 2. Operacije logističko-distribucijskog centra

OPERACIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKOG CENTRA		
Prijevozne operacije	**Skladišne (manipulacijske) operacije**	**Distribucijske operacije**
prijevoz i pretovar	utovar, istovar, skladištenje, konsolidacija, sortiranje, pakiranje, prepakiranje, vaganje. mjerenje, numeriranje, signiranje, carinjenje, personalizacija robe, inspekcijski pregled, punjenje i pražnjenje	dostava, povrat robe i ambalaže

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Proučavanjem kompilacije literatura [1] i [9], ustanovilo se da većina logističko-distribucijskih centara nemaju ulogu samo u opskrbljivanju prodajnih mjesta ili klijenata, nego i ulogu oplemenjivanja (dodatne obrade) proizvoda koji nisu spremni za ciljana tržišta. Ovisno o svojstvima generiranih proizvoda i namjeni logističko-distribucijskog centra, proizvodu se povećavaju svojstva raznovrsnim uslugama dodane vrijednosti do trenutka ispunjavanja nužnih uvjeta za prodaju u namijenjenom prostoru. Faza oplemenjivanja robe pokriva nekoliko operacija koji su navedeni u Tablici 2. pod skupinom skladišnih funkcija. Na osnovu navedenoga, može se zaključiti da logističko-distribucijski centar obuhvaća prijevoznu funkciju, distribucijsku funkciju, skladišnu funkciju u smislu čuvanja robe i funkciju dodavanja vrijednosti gotovom proizvodu.

Proučavanjem kompilacije literatura [1], [3], [4] i [22], ustanovilo se da je logističko-distribucijski centar u osnovi sustav koji proizvodi širok spektar različitih usluga namijenjene za različite profile korisnika koji djeluju na različitim područjima logistike. Struktura proizvoda logističko-distribucijskog centra može biti definirana u funkciji različitih područja logistike koja imaju svoja specifična obilježja. Tako se u sustavu logističkih usluga pojavljuju mnogobrojne uslužne djelatnosti u sljedećim područjima[32]: intermodalni prijevoz, gradska logistika, logistički *outsourcing*, logistika skladištenja, logistika distribucije i nabave, logistika otpadnih materijala i povratnih materijala, logistika opasnih materijala, prijevozne i špediterske usluge, usluge dodane vrijednosti, usluge prijevozne burze, organizacija prijevoza, upravljanje ljudskim resursima, usluge konzaltinga, optimizacija prijevoznih lanaca. Spektar

[32] Mlinarić, T. J.: Robno-transportni centri, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013. (skripta)

navedenih uslužnih djelatnosti utvrđuju razinu usluge logističko-distribucijskog centra, a svaka pojedinačna primjena usluge ovisi o: vrsti i karakteristikama robe, tržištu kojem je proizvod namijenjen, zahtjevima naručitelja robe i sposobnosti osobe koje robi dodaje novu vrijednost, koji su ustanovljeni proučavanjem kompilacije literatura [1], [3], [4] i [22]. Prema tome, može se uočiti da logističko-distribucijski centar kao čvor u distribucijskoj mreži predstavlja najveći stupanj integracije logističkih aktivnosti te najveći stupanj koncentracije nositelja i korisnika logističkih usluga.

2.3. Zajednička obilježja LDC-a

Na temelju analize djelovanja svih logističko-distribucijskih centara mogu se identificirati bitna obilježja koja utvrđuju temeljne sustavne elemente i glavne odrednice koncepta čineći zaokruženu cjelinu funkcioniranja centra, a obilježja su sljedeća[33]:

a) ***Otvorenost*** odnosi se na slobodni pristup svim javnim tijelima i privatnim poduzećima radi ugovaranja poslovne suradnje i/ili iskorištavanja pogodnosti lokacijskog objekta.
b) ***Multimodalnost*** pokazuje razinu integriranosti logističko-distribucijskog centra u intermodalne logističke lance kojom se utvrđuje namjena i položaj centra u nacionalnoj/kontinentalnoj/globalnoj logističkoj mreži. Razina integriranosti se određuje prema konekciji s različitim vidovima prometa, pri čemu se logističko-distribucijski centri koji raspolažu samo jednim vidom prometa klasificiraju u najslabiju kategoriju, dok oni koji raspolažu s više različitih vidova prometa klasificiraju se u više kategorije.
c) ***Multifunkcinalnost*** obuhvaća skup skladišnih, prijevoznih i distribucijskih funkcija koje se očitavaju kroz djelovanje veletrgovaca, malotrgovaca, logističkih operatera, brokera, specijaliziranih poduzeća, prijevoznika i agenata u svrhu osiguravanja kvalitetnog logističkog toka.
d) ***Intersekcionalnost*** obuhvaća integrirane poslovne sektore kompanije koji uzajamnom suradnjom nastoje realizirati operativne funkcije i time kvalitetno odgovoriti na svaki zahtjev krajnjeg potrošača.
e) ***Elektronička razmjena podataka*** omogućuje moderan pristup upravljanju i nadziranju prijevoznih, skladišnih i distribucijskih procesa u opskrbnom lancu kroz kontrolne

[33] Logističko-distribucijski centri, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012./2013. (prezentacija)

sustave, kao i razmjeni informacija elektroničkim putem sa poslovnim partnerima unutar logističkog lanca. Prema tome, informacijske tehnologije su vrlo bitan sustavni element, napose u globalnim mjerilima, jer predstavljaju sinonim za ekonomično i napredno poslovanje te povećanje performansi logističkih procesa.

f) ***Manipulacija teretom*** okuplja širok spektar objekata i tehničko-tehnološke opreme namijenjenih za manipuliranje teretom, kao što su: skladišta s temperaturnim režimom održavanja, distribucijska skladišta, kontejnerski terminali,
g) ***Dodatne usluge*** predstavljaju skup infrastrukturnih i tehničko-tehnoloških elemenata koji su u funkciji sekundarne djelatnosti logističko-distribucijskog centra, kao što su: parkiralište i sanitarije za teretna vozila, servisna stanica za kontejnere, stanica sa opskrbom goriva, restorani, stanice za kontrolu kakvoće i količine ulazno-izlazne robe, sustavi za prijenos i pakiranje, carinski postupci, uzorkovanje robe, doleđivanje robe, veterinarska stanica, leasing poslovi i drugo.

2.4. Organiziranje logističko-distribucijskih centara

Primjenom suvremenih tehnoloških rješenja i načela organizacije rada logističko-distribucijski centri postali su utjecajni sudionici u opskrbnom lancu i ključna čvorišta u proizvodnji logističko-distribucijskih proizvoda.

2.4.1. Struktura distribucijske mreže

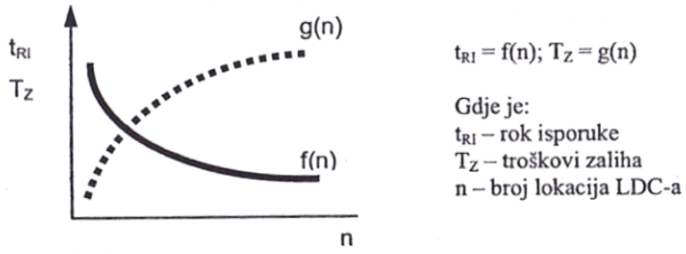
Referirajući se na Sliku 2., struktura distribucijske mreže ili eksterne organizacije utvrđena je lokacijama, vezama i količinom logističko-distribucijskih centara koji utječu na ukupne efekte distribucije. Od nabrojanih parametara za oblikovanje distribucijske mreže lokacija ima presudni značaj, jer će lokacija logističko-distribucijskog centra na određenom području utjecati na sustav efikasnosti u sljedećih nekoliko godina[34]. Proučavanjem literature, kod određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra nužno je uzeti u obzir potrošačka kretanja i ekonomsku moć gospodarskih subjekata unutar promatrane regije, infrastrukturne značajke, ljudske resurse, geoprometnu lokaciju te kretanje robnih tokova i investicija[35].

[34] Klapita, V., Švecová, Z.: Logistics centre location, Transport, Vol. 21, No. 1, 2006.
[35] http://files.fpz.hr/Djelatnici/tmlinaric/Robno-transportni-centri-skripta.pdf

Kada se razmotre svi relevantni parametri koji se odnose na određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra pristupa se odabiru odgovarajuće strategije formiranja koji najbolje odgovara potrebama distribucije.

Razmatranjem kompilacije literatura [1], [9] i [18], ustanovilo se da na efektivnost distribucijske mreže znatno utječe centralizacija ili decentralizacija logističko-distribucijskih centara, koja visi o površini gravitacijske zone, gustoći naseljenosti i profilu kupaca. Ukoliko određeni profil kupaca ne zahtjeva kratak rok isporuke, distribucijska mreža može funkcionirati s malim brojem logističko-distribucijskih centara[36]. Sa generalnog stajališta, mali broj lokacija logističko-distribucijskih centara rezultira povećanjem stupnja centralizacije zaliha, ostvaruje veću produktivnost robe, frekvenciju isporuka i iskoristivost kapaciteta prijevoznih sredstava, ali generira velike troškove skladištenja (troškovi zaliha), održavanja voznog parka i radne snage te uzrokuje veliku gustoću prometa u užem okruženju[37].

U suprotnome, ako profil kupaca zahtjeva kratak rok isporuke narudžbe, primijenit će se decentralizirani model u kojem lokacije logističko-distribucijskih centara čine stablastu strukturu distribucijske mreže, kako bi se locirali bliže kupcima i time reducirali prijevozne udaljenosti. Model decentralizacije smanjuje kapacitet i razinu zaliha u logističko-distribucijskim centrima, ali su troškovi ukupnog kapaciteta i zaliha veći[38]. Veći broj lokacija logističko-distribucijskih centara ostvaruje nižu produktivnost, frekvenciju isporuka i iskoristivost kapaciteta prijevoznih sredstava. Pored navedenih nedostataka decentralizirani model baš i nije povoljna opcija, kao što je to prikazano grafom funkcija $t_{RI} = f(n)$ i $T_z = g(n)$[39] na Slici 5.

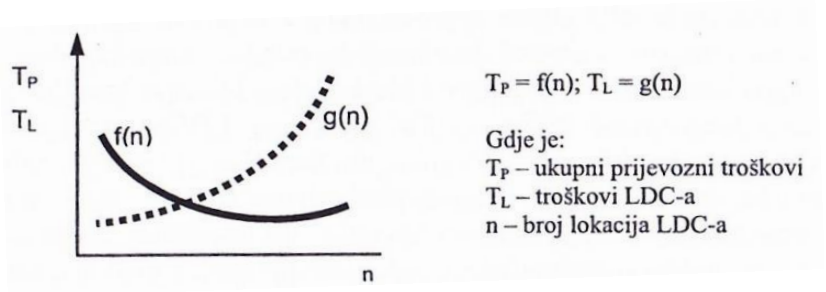


Slika 5. Omjer roka isporuke i troškova zaliha prema broju lokacija objekta

Izvor: Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010., str. 261.

[36] Ivanković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010., str. 261.
[37] Ibidem, str. 261.
[38] Ibidem, str. 261.
[39] Ibidem, str. 261.

Međutim, s povećanjem broja lokacija logističko-distribucijskih centara smanjuje se frekvencija ulaznih robnih tokova, zbog čega je učinak na smanjenje ukupnih prijevoznih troškova neprimjetan. Daljnje povećanje broja lokacija logističko-distribucijskih centara dovodi do usitnjavanja ulaznih robnih tokova, što uzrokuje pad ispod minimalne razine koja omogućuje ostvarivanje količinske uštede,odnosno ukupni prijevozni troškovi logističko-distribucijskih centara počinju rasti[40]. Za to vrijeme, troškovi logističko-distribucijskog centra od početka kontinuirano rastu s povećanjem broja lokacija, kao što to prezentira graf funkcija $T_P = f(n)$ i $T_L = g(n)$ na Slici 6.



Slika 6. Odnos ukupnih prijevoznih troškova i troškova objekta prema broju lokacija objekta

Izvor: Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010., str. 262.

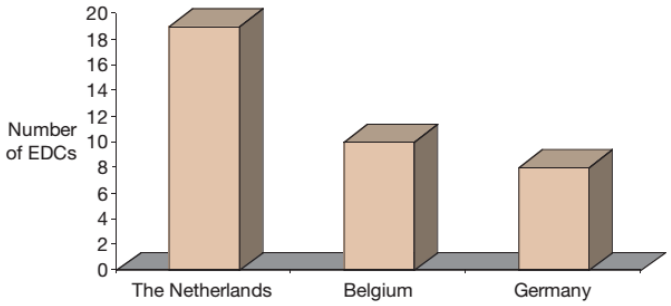
Kao identifikator razvijenosti strukture eksterne organizacije ogleda se u gustoći logističko-distribucijskih centara. Gustoća objekata je pokazatelj odnosa broja lokacija s brojem stanovnika ili površinom određene zemlje. Razmatranjem literature [21], u kojoj autor navodi pokazatelje gustoće distribucije (trgovine), moguće je izraziti gustoću logističko-distribucijskih centara kroz tri pokazatelja[41]:

a) broj stanovnika na jedan objekt
b) broj objekata po kvadratnom kilometru zemljišne površine
c) prosječna površina objekata po kvadratnom kilometru zemljišne površine

Konzultacijska tvrtka *Capgemini*, u suradnji s *Prologisom*, provela je istraživanje europskih logističko-distribucijskih centara. Istraživanje obuhvaća evaluaciju više od 300 logističko-distribucijskih centara. Rezultati istraživanja pokazali su izraženu koncentraciju centara u Nizozemskoj, Belgiji, Velikoj Britaniji, Njemačkoj i Francuskoj[42]. Među njima, Nizozemska i Belgija imaju relativno veliku količinu europskih distribucijskih centara u

[40] Ibidem, str. 261.
[41] Rogić, K.: Predavanja iz kolegija Distribucijska logistika I, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011./2012. (skripta)
[42] http://weglo.jp/wp/wp-content/uploads/2014/05/1173176822tl_distribution_center_study.pdf

odnosu na stanovništvo istoimene zemlje (Slika 7.), naročito, zbog blizine glavnim tržištima, pomorskim lukama Rotterdam i Antwerp te kvalitetne pomorsko-kopnene infrastrukture[43].



Slika 7. Zemlje s najvećim brojem europskih logističko-distribucijskih centara

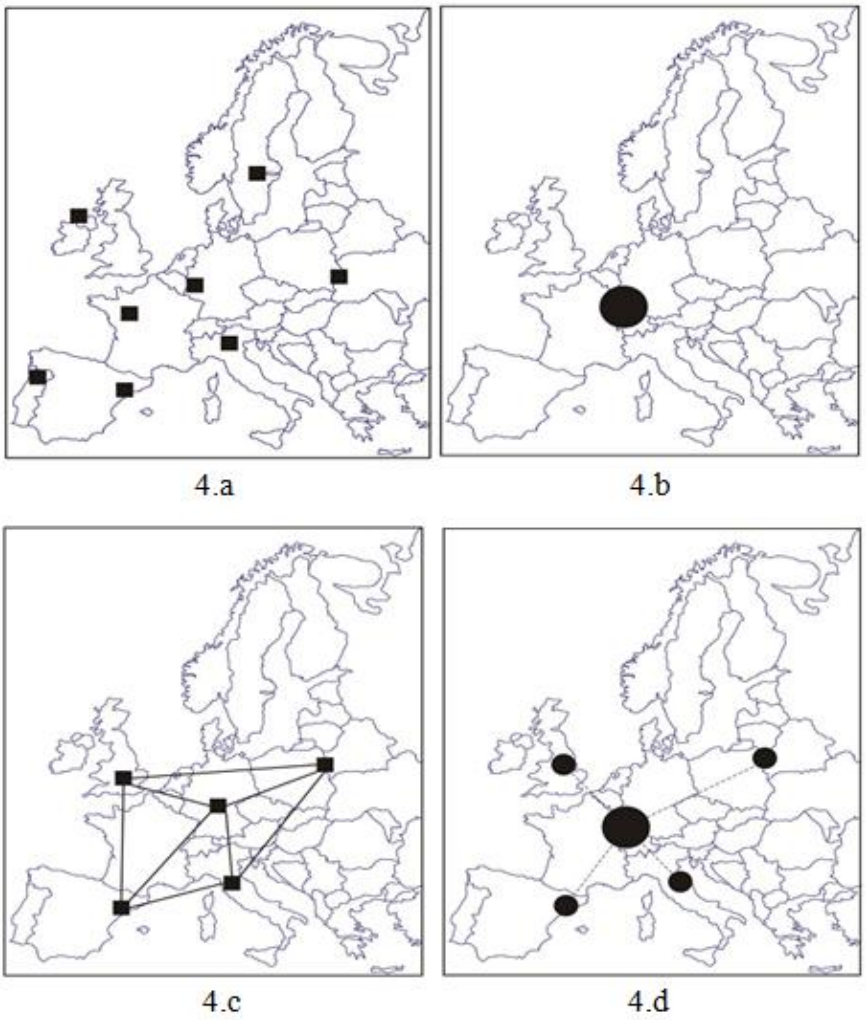
Izvor: http://weglo.jp/wp/wp-content/uploads/2014/05/1173176822tl_distribution_center_study.pdf

2.4.3. Strategije formiranja logističko-distribucijskih centara

U praksi postoje četiri različita modela formiranja mreže logističko-distribucijskih centara[44] (Slika 8.):

a) Decentraliziran i nekoordinirani tip organizacije - model u kojem svaka zemlja posjeduje barem s jednim logističko-distribucijskim centrom u svrhu opsluživanja užeg okruženja ili regije.
b) Centralizirani tip organizacije - model koji se temelji na jednom kontinentalnom (europskim) logističko-distribucijskom centru oslonjen na gospodarsku snagu šireg okruženja koji nadilazi regionalni prostor.
c) Ukomponirana organizacija središnjeg logističko-distribucijskog centra i regionalnih centara - model u kojem je glavno obilježje zajednička organiziranost logističkih djelatnosti smještenih u središnjem centru.
d) Koordinirano decentralizirani tip organizacije - ukomponiran iz više regionalnih logističko-distribucijskih centara koji su podložni vođenju matičnog centra.

[43] http://weglo.jp/wp/wp-content/uploads/2014/05/1173176822tl_distribution_center_study.pdf
[44] Kesić, B., Jugović, A., Perko, N.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u Riječkoj regiji, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Pomorski zbornik 42 (2004)1, Rijeka, 2005., str. 189.



Slika 8. Modeli formiranja logističko-distribucijskih centara

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema Kesić, B., Jugović, A., Perko, N.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u Riječkoj regiji, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Pomorski zbornik 42 (2004)1, Rijeka, 2005., str. 189.

2.4.4. Modeli upravljanja logističko-distribucijskim centrima

Jedan od zahtjeva koji se postavljaju logističko-distribucijskom centru u ostvarivanju izvrsnog koeficijenta logističke izvedbe je princip upravljanja u kojem bitnu ulogu ima menadžment tvrtke. Najčešće odabir modela ovisi o osnivaču centra na određenoj lokaciji i interesu korisnika konkretnog logističkog centra. Upravljanju logističkim centrom može se pristupiti putem jednog od tri sljedeća modela[45]:

a) model ograničenog upravljanja,
b) model djelomično ograničenog upravljanja i

[45] Kesić, B., Jugović, A., Perko, N.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u Riječkoj regiji, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Pomorski zbornik 42 (2004)1, Rijeka, 2005., str. 193.

c) model potpunog upravljanja.

2.4.4.1. Model ograničenog upravljanja

Model predviđa određenu pravnu osobu kojoj je dodijeljeno pravo upravljanja infrastrukturom logističko-distribucijskog centra, dok se pomoćne djelatnosti stavljaju u koncesiju, kao što uslužni servisi u primarnim djelatnostima u sklopu logističkog centra[46]. Pravna osoba, kao nositelj cjelokupnih primarnih djelatnosti logističkog centra, reprezentira vlastito poduzeće na tržištu logističkih usluga te, istovremeno, organizira logističko-distribucijske aktivnosti koji povećavaju vrijednost robe. Poduzeća koja su u funkciji primarnih djelatnosti logističkog centra obično su[47]:

a) Logistička poduzeća koja su u okviru logističkog centra prepoznala mogućnost prosperiteta (razvoj zbirnog ili distribucijskog centra za pošiljke čije prijevozne usluge organiziraju vanjski davatelji logističkih usluga, tj. prijevoznička ili špediterska poduzeća).
b) Poduzeća čija je primarna djelatnost proizvodnja, trgovina ili distribucija proizvoda koji su u sklopu logističkog centra otkrili optimalan prostor za svoju djelatnost u odnosu na gravitacijsko područje (na primjer: proizvodna ili trgovačka poduzeća koja u sklopu zone izvode završne faze proizvodnje, od kojih se mogu izdvojiti usluge dodane vrijednosti te prilagodba proizvoda za određeno tržište).

Infrastruktura logističkog centra, koja je od zajedničkog interesa, obično je[48]:

a) Primarna i sekundarna komunalna infrastruktura unutar logističkog centra (komunalna, vodoopskrbna, energetska i telekomunikacijska postrojenja).
b) Vanjske i unutrašnje prometnice koje povezuju logistički centar sa zaleđem, odnosno sadržaje i objekte unutar logističkog centra.
c) Objekti od zajedničkog interesa koji omogućuju izvođenje pomoćnih djelatnosti logističkog centra (na primjer: carinska služba, kancelarije špeditera, ugostiteljski objekti, pošte i drugo).

Jedna od ključnih zadaća voditelja logističko-distribucijskog centra u spomenutom modelu je da od samog početka projicira usklađeni razvoj logističko-distribucijskog centra i svih

[46] Ibidem, str. 194.
[47] Ibidem, str. 194.
[48] Ibidem, str. 194.

izvedbenih djelatnosti unutar centra. U protivnom, lako se može dogoditi da logistički centar preraste svoju primarnu namjenu[49]. U navedenom modelu upravljanja objekti su uglavnom izgrađeni „po mjeri“ korisnika, a vlasništvo je[50]:

a) u rukama korisnika, kao i upravljanje
b) u rukama trećih osoba koje su investirale u izgradnju objekata i dale ih u dugoročni najam korisnicima koji njima upravljaju
c) u rukama osnivača logističko-distribucijskog centra, odnosno u potpunom upravljanju korisnika.

U praksi se ovaj model upravljanja primjenjuje kada se određeno zemljište namjeni za djelatnosti industrijske zone ili u konkretnom primjeru logističko-distribucijskog centra. Lokalne zajednice investiraju značajna financijska sredstva u izgradnju komunalne infrastrukture i namjenski ga odredi za takvu djelatnost. U pojedinim slučajevima umjesto lokalnih zajednica nastupaju strana poduzeća (interesne skupine) sa vlastitim ili bankovnim potencijalom. Takva poduzeća realiziraju otkup zemljišta, opreme ga komunalnom infrastrukturom i na tržištu nekretnina pronađu interesne korisnike tih objekata. Razmatranjem literature [9], u takvom slučaju postoji vjerojatnost izostanka primarne djelatnosti pa se na istom području susreću proizvodno-distribucijske i poslovne djelatnosti. Razlog tome je pravna osoba koja je investirala u takav kompleks i koja teži k tome da mu se uloženi kapital za kupnju zemljišta i izgradnju objekata što prije vrati.

2.4.4.2. Model djelomično ograničenog upravljanja

Prema Kesiću, Jugoviću i Perku[51], ovaj model upravljanja logističko-distribucijskim centrom obuhvaća osnivače centra koji su otkupili zemljište ili su vlasnici zemljišta od početka. Vlasnik centra dužan ga je opremiti komunalnom infrastrukturom te izgraditi objekte koji su po tehničkim svojstvima pogodni za manipulaciju, skladištenje, distribuciju i popratne djelatnosti u funkciji skladištenja i distribucije. U ovom modelu upravljanja objekti su[52]:

a) Izgrađeni u cijelosti prema zahtjevima naručitelja - budućeg korisnika, pri čemu korisnik mora biti poznat već u fazi planiranja objekata.

[49] Ibidem, str. 194.
[50] Ibidem, str. 194.
[51] Ibidem, str. 194.
[52] Ibidem, str. 194.

b) Izgrađeni bez posebnih zahtjeva jer je korisnik još nepoznat - stoga ti objekti moraju biti takvi da je moguća najšira primjena ili kao skladište ili kao pomoćna djelatnost skladištenja.

U sklopu ugovora o predaji imovine, osnivač logističko-distribucijskog centra za izgrađene objekte traži zainteresirane najmoprimce koji izvode određenu djelatnost, gdje se odabir odvija među potencijalnim i konkurentnim najmoprimcima koji će osigurati skladno i optimalno funkcioniranje unutar izgrađenog centra[53]. Na taj način osnivač izravno pridonosi razvoju dodatnih djelatnosti potrebnih svim najmoprimcima u okviru logističko-distribucijskog centra. S takvim načinom upravljanja osnivač centra odgovoran je za[54]:

a) jedinstvenom režimu prometa unutar logističko-distribucijskog centra,
b) jedinstvenom režimu funkcioniranja centra kao cjeline,
c) održavanju svih objekata unutar kompleksa centra,
d) održavanju infrastrukturnih elemenata centra,
e) nesmetanom funkcioniranju sekundarnih djelatnosti centra.

Međutim, ista odgovornost zahtjeva znatne troškove upravljanja koje osnivač centra pokriva naplaćivanjem u obliku[55]:

a) najamnine za objekte ili zemljišne površine dane u najam,
b) paušalnih prihoda za upotrebu zajedničkih površina razmjerno s veličinom površine pojedinog korisnika logističko-distribucijskog centra,
c) realiziranih usluga za određenog komitenta.

2.4.4.3. Model potpunog upravljanja

Ovaj model upravljanja uključuje osnivače logističko-distribucijskih centara kojima je primarna djelatnost izvedba cjelovitih logističkih usluga za korisnike, odnosno industriju ili trgovačke djelatnosti[56]. U ovom modelu, korisnici smješteni unutar gravitacijske zone centra opsluženi su logističkim uslugama od osnivača. Preko takvih logističko-distribucijskih centara privlače se robni tokovi za koje su zainteresirani određeni komitenti.

[53] Ibidem, str. 195.
[54] Ibidem, str. 195.
[55] Ibidem, str. 195.
[56] Ibidem, str. 196.

Prema Kesiću, Jugoviću i Perki[57], struktura djelatnosti logističko-distribucijskih centara, u ovom modelu, u potpunosti je prilagođena osnivaču koji iz djelatnosti upravljanja centrom doprinosi prosperitetu poduzeća te poboljšava svoju konkurentnu poziciju na tržištu. Tako se djelatnost logističko-distribucijskog centra nadopunjuje s osnovnom djelatnošću osnivača i od posebnog je značenja za uspješno poslovanje.

Iz tih razloga, logistička poduzeća koja namjeravaju organizirati takve logističko-distribucijske centre za lokaciju najčešće odabiru područja sa sljedećim značajkama[58]:

a) u središtu ili u neposrednoj blizini snažnih industrijskih ili trgovačkih središta,
b) u neposrednom zaleđu razvijenih terminala pomorskog, željezničkog, cestovnog ili zračnog prometa.

Takva lokacija logističko-distribucijskog centra omogućava logističkom poduzeću da svojim komitentima ponudi cjelokupne usluge kojima se zatvara opskrbni lanac. U konkretnom modelu upravljanja logističko-distribucijskim centrom osnivač u cijelosti brine za funkcionalnost i poslovanje logističkog centra te je odgovoran za ekonomski rezultat centra kao cjeline. Pritom, nije isključeno da određene usluge koje se izvode u sklopu logističkog centra obavljaju i druga poduzeća koja sa osnivačem zone imaju ugovor ili za najam prostora ili za proizvodnju određenih usluga za osnivača[59]. To su, uglavnom, operativni zadaci koje osnivač neće ili ne može izvoditi, nego ih iz određenih razloga prepušta poslovnim partnerima na izvođenje. Vanjskim poduzećima koja djeluju u zoni osnivač ne zaračunava troškove direktno kao najamninu, već nastali troškovi su jedna od stavki u zaračunavanju kompletne usluge koje osnivač zaračunava komitentu[60].

2.5. Kategorizacija logističko-distribucijskih centara

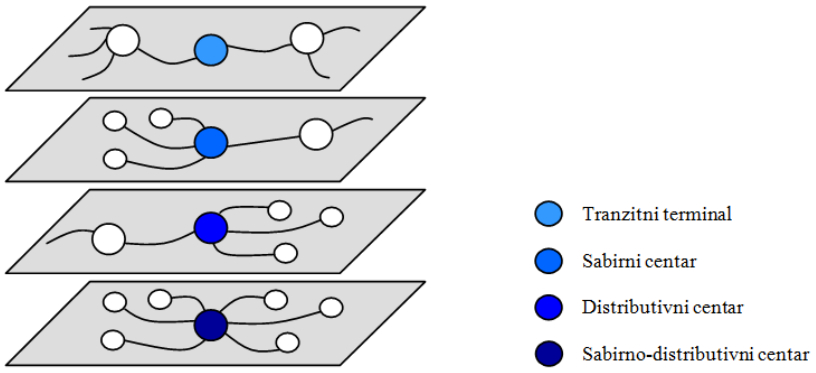
Nositelji realizacije robnih tokova su logistički lanci i logistički sustavi gospodarskih subjekata koji su značajni čimbenici kreiranja logističke mreže. Kohezivnu snagu logističke mreže tvore čvorovi i veze. Ključni element je čvor, odnosno terminal u kojem se odvijaju transformacije robnih tokova i specifične logističke aktivnosti. Priroda poslovanja pojedinog terminala, koja se utvrđuje obavljanjem dominantnog logističkog procesa, definira namjenu terminala za potrebe korisnika i pripadnost određenom dijelu logističkog lanca u cjelini. U

[57] Ibidem, str. 196.
[58] Ibidem, str. 196.
[59] Ibidem, str. 196.
[60] Ibidem, str. 196.

razmatranju literature [9], ustanovilo se da terminali, u kojima dominiraju procesi prijevoza, obično nazivaju robnim terminalima, robno-transportnim centrima; terminali u kojima dominiraju tehnologije prekrcaja nazivaju se kontejnerskim i intermodalnim terminalima, pozadinskim lukama; terminali u kojima dominiraju procesi sabiranja i distribucije nazivaju se sabirnim centrima, distribucijskim centrima, logističkim centrima; i terminali koji se nalaze na krajnjim točkama logističke mreže nazivaju se *"hub"* terminali, *"gateway"* terminali, itd.

Ovi se pojmovi koriste u različitim jezičnim područjima i različitim društvenim sredinama, u praksi i literaturi. Prethodno navedeni terminali osiguravaju realizaciju osnovnih logističkih aktivnosti, dok se, razmatranjem literature [18], suptilna razlika među gore spomenutim terminalima ogleda u:

a) investitoru i osnivaču,
b) načelima organizacije rada i primijenjenoj tehnologiji,
c) stupnju kooperacije nositelja i korisnika usluga,
d) lokaciji i funkciji u logističkoj mreži,
e) strukturi i opsegu logističkih aktivnosti i voznog parka,
f) pripadnosti vrsti robe i načelima manipuliranja teretom,
g) pripadnosti prometnoj grani,
h) površini gravitacijske zone i
i) sustavima upravljanja resursima.



Slika 9. Shematski prikaz kategorizacije logističko-distribucijskih centara prema funkciji

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Iz navedenoga, može se ustanoviti da je terminološka struktura terminala heterogena. Stoga je logističko-distribucijski centar najprikladniji pojam koji objedinjuje sve terminološke odrednice terminala, bilo da je smješten unutar industrijskog kompleksa ili logističkog parka

ili pomorske luke. Sukladno prethodnome, nameće se potreba za utvrđivanjem kriterija za postavljanje modela koji će definirati kategorije. Kao temeljni model kategorizacije logističko-distribucijskih centara podjela je prema funkciji u logističkoj mreži, koji je popraćen Slikom 9. Spomenuta slika ilustrira shematski prikaz četiri tipa logistička centra prema funkciji, a to su[61]:

a) tranzitni terminal,
b) sabirni centar,
c) distributivni centar i
d) sabirno-distributivni centar.

Centri su označeni različitom bojom te svaki pojedina shema prikazuje neposredne veze sa susjednim točkama. Tranzitni terminal klasični je primjer intermodalnog terminala (*Huckepack, Modalohr, Ro-La,* itd.) u kojem se odvijaju horizontalne i vertikalne tehnike prekrcaja intermodalne teretne jedinice između dvaju ili više prometnih grana. Na putu prema odredištu, teretna jedinica u srodnim terminalima mijenja isključivo jedinicu prijevoznog sredstva, ali ne i vlastita svojstva. Za sabirni centar karakteristično je više točaka dobave i jedna točka otpreme. Prvenstveno su namijenjeni za okrupnjavanje i obradu materijala. Kao klasični primjer može se navesti sabirni centar za gospodarenje (generalnim) otpadom koji angažira vlastite resurse za pribavljanje otpadnim materijala neophodnih za proizvodnju ili obradu materijala. Za distribuciju robe široke potrošnje najpogodniji je distribucijski centar kojeg karakterizira jedna točka dobave i više točaka otpreme. Klasični primjeri su logističko-distributivni centri veleprodajnih i maloprodajnih trgovaca te logističkih operatera. Sabirno-distributivne centre obilježava više točaka dobave i otpreme što podrazumijeva jednu od složenijih organizacijskih struktura i prilagođenih programa za upravljanje. Od takvih terminala, može se izdvojiti nacionalni terminal Hrvatske pošte d.d.

Prema Babiću[62], koji je za sastavljanje modela i odabir kriterija sastavio upitnik ciljan za logističko-distribucijske centre i temeljem kojeg je prikupio podatke o: kvaliteti infrastrukture, primijenjenim tehnologijama, organizacijskoj strukturi, funkcionalnim sektorima, logističkim uslugama i robnim tokovima koje je, zatim, evaluirao prema određenim kriterijima, kategorije su sljedeće:

[61] https://www.scribd.com/doc/212288335/Logisticki-Centri-Seminarski-rad
[62] Babić, D.: Model kategorizacije logističko-distribucijskih centara, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2012.

a) 0. kategorija - Globalni logističko-distribucijski centri
b) I. kategorija - Internacionalni logističko-distribucijski centri
c) II. kategorija - Nacionalni/Internacionalni logistiko-distribucijski centri
d) III. kategorija - Logističko-distribucijski centar u funkciji intermodalnog transporta
e) IV. kategorija - Logističko-distribucijski centar u funkciji logističke industrije
f) V. kategorija - Logističko-distribucijski centar u funkciji gradske logistike

Istraživanje je obuhvatilo gotovo sve vrste i oblike logističko-distribucijskih centara u svrhu dobivanja vjerodostojnih i realnih rezultata, kvantitativne i kvalitativne prirode, na temelju kojih je, prethodno spomenuti autor, izradio model kategorizacije logističko-distribucijskih centara. U Tablici 3. prikazani su generalni podaci pojedinih kategorija uz njihov opis.

Tablica 3. Kategorije logističko-distribucijskih centara

Kategorije	Obujam prometa		Opis Kategorije	Korisnici Centra
	[kom]	[t]		
0. Kategorija	> 2.000.000	>50.000.000	Prvenstveno su vodeće svjetske i europske luke, koje predstavljaju globalne logističko-distribucijske centre, s minimalno tri grane prometa te popratne sadržaje i usluge koje se danas nude	- Globalni logistički operateri - Globalni proizvođači - Globalni iznajmljivači i davatelji logističkih usluga
I. Kategorija	400.000 > 2.000.000	15.000.000 > 50.000.000	Predstavljaju svjetske i europske luke te kopnene centre koje mogu biti u funkciji određenih grana industrije, a imaju međunarodnu ulogu	- Globalni logistički operateri - Globalni proizvođači - Globalni iznajmljivači i davatelji logističkih usluga
II. Kategorija	100.000 > 500.000	5.000.000 > 20.000.000	Kao luke, prvenstveno su nacionalni logističko-distribucijski centri sa određenim međunarodnim utjecajem. Ukoliko su kopneni centri, specijalizirani su za manipuliranje kontejnerima	- Međunarodni i nacionalni operateri - Laka industrija - Prijevoznici
III. Kategorija	20.000 > 150.000	1.000.000 > 7.000.000	U pravilu su centri koji djeluju kao intermodalni čvorovi u transportnoj mreži.	- Međunarodni i nacionalni operateri - Laka industrija - Prijevoznici
IV. Kategorija	< 20.000	300.000 > 1.500.000	Predstavljaju logističko-distribucijske centre orijentirane na logističke djelatnosti, tj. na usluge dodatne obrade proizvoda te su u funkciji distribucije gotovih proizvoda	- Manji logistički operateri - Veletrgovci - Distributivne tvrtke
V. Kategorija	/	< 300.000	Predstavljaju lokalne logističko-distribucijske centre čija je osnovna funkcija opskrba maloprodajne mreže na lokalnom i regionalnom području	- Trgovci na veliko - Trgovci na malo

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema Babić, D.: Model kategorizacije logističko-distribucijskih centara, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2012.

3. LOCIRANJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKIH CENTARA

U međunarodnoj trgovinskoj razmjeni dobara svaka zemlja stimulira ekonomski razvoj odgovarajućim mjerama u različitim gospodarskim granama. Vrlo je bitno da državna tijela temelje ekonomski razvoj zemlje na gospodarskoj suradnji sa ekonomski moćnijim zemljama radi obostranog doprinosa i održavanja zajedničkog gospodarskog plana. Kontinuirano ulaganje u ciljane infrastrukturne elemente je od krucijalnog značaja za sveobuhvatni ekonomski razvoj zemlje, naročito, u elemente koji omogućuju prometno gospodarstvo, jer trendovi u logistici pokazuju da su proizvodnost industrije, geoprometni položaj i zrelo tržište ključni pokazatelji ekonomskog rasta.

Prema Klapiti i Švecovoj[63], planiranje i organiziranje logističko-distribucijskog centra kompleksan je zadatak jer se ne radi o izoliranom sustavu i o jednom logističkom lancu, nego o distribucijskoj mreži na koje utječu makrolokacijski i mikrolokacijski čimbenici. U razmatranju literature [8], ustanovili su se određeni uvjeti koje logističko-distribucijski centar mora udovoljavati da bi u potpunosti ispunjavao zadatke koji mu se postavljaju u procesu planiranja, a to su:

a) položaj u logističkoj mreži je od presudnog značaja za privlačenje korisnika i robnih tokova
b) potrebna veličina centra utvrđena konkretnim potrebama
c) adekvatna povezanost sa prometnom infrastrukturom i drugim površinama

3.1. Problematika i klasični postupak određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra

U uvjetima kada je potrebno uspostaviti prijevoznu vezu između proizvodnje i potrošnje, a proizvođač nije u mogućnosti vlastitim kapacitetima realizirati izravnu isporuku gotovih proizvoda u maloprodajne objekte, tada je gotove proizvode nužno usmjeriti prema logističko-distribucijskim centrima, u kojima će se roba akumulirati, dodatno obrađivati i isporučivati pojedinim maloprodajnim objektima u skladu s dinamikom potražnje. Obzirom na sveukupne značajke regionalnog područja, nužno je kreirati prikladan distribucijski sustav koji će na postavljene zahtjeve odgovarati efikasno i efektivno.

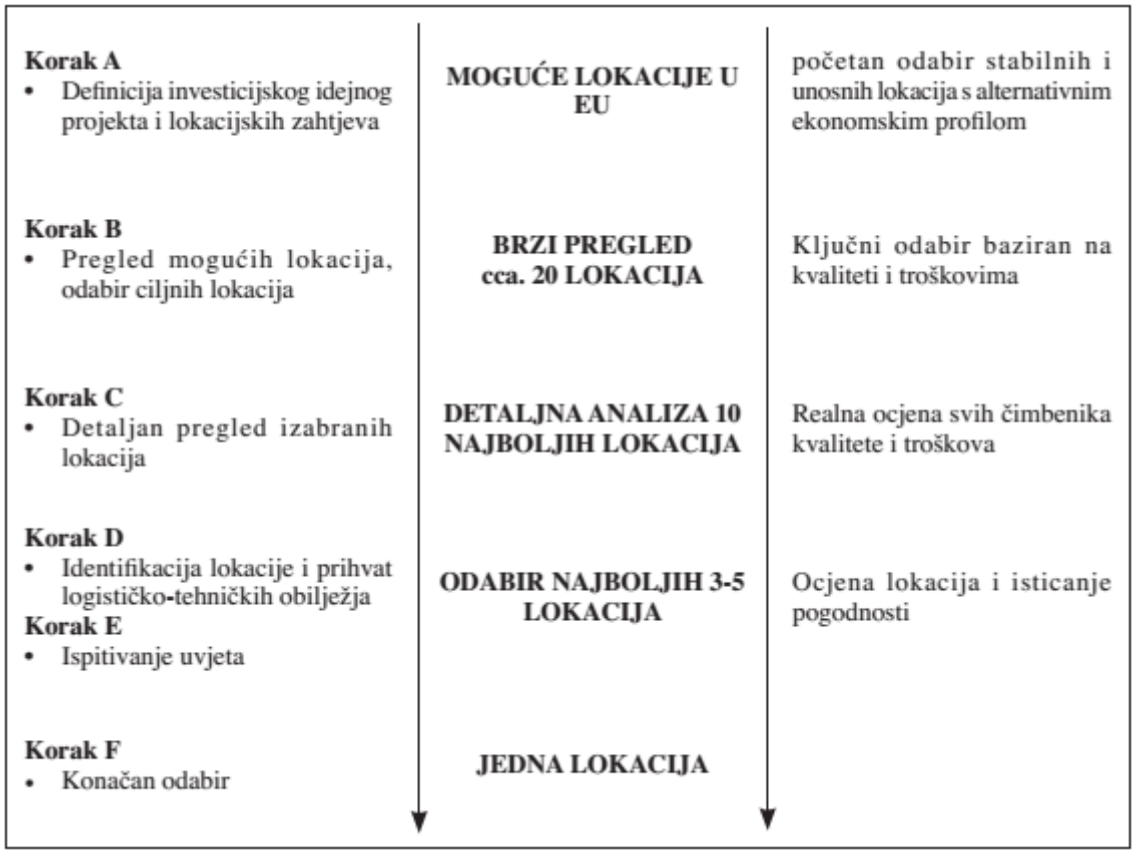
[63] Klapita, V., Švecová, Z.: Logistics centre location, Transport, Vol. 21, No. 1, 2006.

U tom kontekstu, pri kreiranju distribucijskog modela i njegove strukture svaka tvrtka polazi od sljedećih pitanja[64]:

a) Kakvu strukturu distribucijske mreže tvrtka želi?
b) Gdje smjestiti tu strukturu?
c) Koje veličine bi ta struktura bila?

U razmatranju literature [9], definiran je postupak odabira lokacije logističko-distribucijskog centra podijeljen u tri faze:

a) definiranje skupa utjecajnih čimbenika relevantnih za odabir lokacije
b) predviđanje i ocjena intenziteta, pravaca i smjera djelovanja utjecajnih čimbenika u zadanom vremenu i zadanim uvjetima okoline glede postupka odlučivanja o lokaciji
c) vrednovanje potencijalnih lokacijskih rješenja i odabir optimalne



Slika 10. Postupak sustavnog odabira lokacije logističko-distribucijskog centra

Izvor: Kesić, B., Jugović, A., Perko, N.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u Riječkoj regiji, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Pomorski zbornik 42 (2004)1, Rijeka, 2005., str. 192.

[64] Ivaković, Č.: Pozicija logističkih centara Hrvatske u odnosu na centre CEE regije, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, (prezentacija).

Na kreiranje distribucijskog sustava i njegove strukture značajno utječe lokacija logističko-distribucijskog centra. Standardni postupak sustavnog odabira lokacije sastoji se od nekoliko faza, kao što je prikazano na Slici 10. Na temelju proučavanja literature [9], u prvom koraku odlučivanja, sabiru se i analiziraju relevantni i specifični makrolokacijski čimbenici koji se ne smiju zanemariti i od vitalnog su značaja. Potom se pristupa bodovnom ocjenjivanju radi odabira užeg kruga potencijalnih lokacija. U drugom koraku, izdvajaju se najbolje lokacije koje na temelju zadovoljavajuće ocjene vrednovanih kriterija konkuriraju za izgradnju logističkog centra. U trećem koraku odlučivanja, sabiru se i analiziraju specifični mikrolokacijski čimbenici. Tim čimbenicima se dodjeljuju lokalne težine, koji se množe sa ocjenom kojom lokacija zadovoljava pojedini kriterij, a zatim se faktori sumiraju tvoreći konačnu ocjenu lokacije. Nakon detaljne analize, lokacija s najvećom numeričkom vrijednosti predstavlja optimalnu ili onu najbližu optimalnoj, pružajući pozitivan omjer između prihoda i rashoda, odnosno pozitivne ekonomske učinke. Međutim, optimalna lokacija ponekad postane misterij zbog uzrokovanih promjena na tržištu.

3.2. Lokacijska teorija

Pri donošenju odluke o lokaciji logističko-distribucijskog centra neophodno je provesti analizu utjecajnih čimbenika šireg i užeg područja lokacije, kojima se bavi lokacijska teorija. U razmatranju literature [21], ustanovilo se da analiza šireg područja lokacije (makrolokacije) rezultira pojavom određenih područja koji se odabiru za analizu utjecajnih čimbenika užeg područja lokacije (mikrolokacije). Područje šire lokacije može obuhvatiti jednu državu ili regiju ili pokrajinu ili skup od više županija, tako da istraživanje i vrednovanje potencijalnih lokacija na tim razinama predstavlja makrolokacijski problem. Područje uže lokacije zasniva na konkretnoj, lokalnoj katastarskoj čestici zemlje (gospodarska zona) na kojoj postoji mogućnost izgradnje logističko-distribucijskog centra. Mikrolokacija definira položaj, površinu i kapacitet centra koji su određeni planovima urbanističkog područja infrastrukture i planovima razvoja[65]. Mikrolokacijski problem predstavlja zadatak odabira konačne lokacije, bilo da je unutar gospodarske zone, lučkog kompleksa ili logističkog parka. Odabir konačne lokacije ovisi o čimbenicima koji su navedeni dolje ispod makrolokacijskih čimbenika.

[65] Rogić, K.: Predavanja iz kolegija Distribucijska logistika I, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011./2012. (skripta)

Proučavanjem kompilacije literatura [18], [19] i [21], definirani su čimbenici koji utječu na odabir šireg područja lokacije logističko-distribucijskog:

a) struktura i trendovi tržišta
b) struktura robnih tokova
c) prijevozne mogućnosti utvrđene geoprometnim položajem
d) raspoloživost kvalificirane radne snage
e) specifični elementi pojedinog područja
f) korporacijske strategije
g) državna administracija
h) porez i carina

Pri donošenju odluke o lokaciji logističko-distribucijskog centra, nužno je provesti analizu strukture tržišta, pod kojom se razumijeva broj gospodarskih subjekata i njihovo grupiranje, lokacije izvora robnih tokova, količinska godišnja potrošnja roba, udio pojedinih vrsta roba u ukupnoj potrošnji, stupanj i gustoća distribucije, udio pojedinih maloprodajnih lanaca u ukupnoj maloprodajnoj mreži tržišne regije i drugo. Prema Rogiću[66], potražnja za robom i prijevoznim uslugama je neravnomjerno raspoređena na nacionalnoj razini. Stoga, ne samo da je logično već je i racionalno smjestiti logističko-distribucijski centar u blizini široke mase potrošača. Zahvaljujući radu jedinica lokalne samouprave te ekonomskim, ekološkim, socijalnim, energetskim, klimatskim, geografskim i kulturnim čimbenicima promatrana regija raspolaže sa snažnim potencijalom za smještaj logističko-distribucijskog centra i privlačenje robnih tokova. Takva lokacija, koja iz svoga prirodnog okruženja može iskoristiti pogodnosti za ostvarivanje dodatnog prihoda, je najzahvalnija. Kupovna moć i kretanje prometa u maloprodajnoj mreži osnovni su varijabilni pokazatelji, jer oba pokazatelja izravno utječu na tendenciju rasta ili pada tržišne ekonomije.

Zahtjevi za opskrbljivanjem maloprodajne mreže promatrane regije, kojoj se namjerava dodijeliti logističko-distribucijski centar, definira strukturu robnih tokova. Premda su svakoj regiji prisutni tokovi robe široke potrošnje, gospodarska obilježja regije mogu logističkom centru pružiti priliku za ostvarivanje dodatnog prihoda, kao što su zahtjevi za: specijalnim prijevozom vangabaritnog tereta, prijevozom živih životinja, prijevozom motornih vozila, prijevozom tekućeg ili rasutog tereta do određenih terminala. U kategoriji robe široke potrošnje posebnu pažnju treba posvetiti voću, povrću i smrznutim namirnicama,

[66] Ibidem.

koji zbog kratkotrajne kvalitete zahtijevaju brzu isporuku i bliže pozicioniranje logističkog centra potrošačima[67]. Suprotno njima, na robama koje ne zahtijevaju brzu isporuku postoje mogućnosti ostvarivanja količinskih ušteda i optimalizacije prijevoznih troškova.

Razmatranjem literatura [3], [9] i [18], ustanovilo se da je pri planiranju logističkog centra, odnosno određivanju primarne djelatnosti, neophodno istražiti strukturu robnih tokova na području uže gravitacijske zone (do 500 km), ali i strukturu robnih tokova na području srednje gravitacijske zone (od 500 do 1.000 km), od kojih neki tokovi, koji se generiraju iz udaljenijih lokacija, mogu biti potencijalni za preusmjeravanje i transformaciju u logističkom centru. Strukturu robnih tokova definiraju frekvencija i količina robnih kretanja, udio pojedinih vrsta roba u ukupnim kretanjima robnih tokova te prostorna udaljenost između izvorišta i odredišta.

Pokraj svih kvantitativnih čimbenika u postupku odabira lokacije logističko-distribucijskog centra, prijevozne mogućnosti se u smislu neposrednog pristupa prometnim granama gotovo uvijek stavlja na vrh ljestvice prioriteta, čime se dokazuje njezina nerazdvojivost sa logističko-distribucijskim centrima. Proučavanjem literature [21], spoznalo se da je konekcija s prometnom infrastrukturom jedna od najutjecajnijih prioriteta pri određivanju lokacije logističko-distribucijskog centra. Također se spoznalo da ukoliko potencijalni korisnici logističkog centra ostvaruju veliki obujam prometa na temelju adekvatne prometne povezanosti, mogu imati dominantan utjecaj na privlačenje lokacije centra vlastitim izvorima robnih tokova. Osim navedenoga, prostorni planovi modernog uređenja i razvitka prometne infrastrukture unutar zemljišnih granica gospodarske zone mogu imati snažan utjecaj na odabir lokacije logističkog centra. Kako bi se ostvarilo njegovo profitabilno poslovanje, taj učinak bi opravdale poželjne lokacije, koje su ustanovljene proučavanjem literatura [8], [9], [15] i [18]:

a) neposredno uz glavne međunarodne cestovne koridore, čija se veza ostvaruje preko posebnog čvora
b) neposredno uz željezničke kolodvore na međunarodnim ili magistralnim željezničkim pravcima
c) u zaleđu riječnih ili pomorskih međunarodnih luka
d) u blizini zračnih luka

[67] Ibidem.

e) unutar urbanističkih gospodarskih zona i gradova s preko 100.000 (75.000) stanovnika

Logistički je sustav nezamisliv bez prisutnosti ljudskoga faktora i upravo je sustav kao takav oblikovan njihovom upravljanju. Cjelovito upravljanje logističkim centrom prepušteno je osposobljenim i stručnim kadrovima koji u dinamičnom i timskom poslovnom okruženju primjenjuju vlastite kompetencije za rješavanje složenih zadataka i otkrivanje problema u praksi. Iz toga proizlazi da je pojedinac temelj uspjeha ili pada cjelokupnog poduzeća u suvremenom gospodarskom sustavu i bitna uloga u postupku lociranja logističko-distribucijskog centra, kao donositelja odluke. Kod lociranja logističko-distribucijskih centara, urbane sredine imaju prednost nad ruralnim sredinama zbog kvalitetnijeg obrazovnog programa (sveučilišta i veleučilišta) i mogućnosti stručnog osposobljavanja zaposlenika[68]. Tako da raspoloživi ljudski potencijali u urbanim sredinama mogu biti u funkciji privlačenja lokacije logističko-distribucijskog centra.

Ako u postupku odabira lokacije logističko-distribucijskog centra konkuriraju dvije ili više zemalja, tada se pravni propisi (zakonske regulative) određene zemlje uzimaju kao čimbenik odabira makrolokacije na nacionalnoj razini (primjerice, LNG terminal u vlasništvu inozemne kompanije). Razmatranjem literature [15], spoznalo se da se prvenstveno promatraju sustavna pravila i kvalitativni pokazatelji državne administracije, državni porez, ukupni doprinosi lokalnim vlastima državnim kompanija za korištenje njihovih usluga, carinska procedura države i poticajne mjere za ulazak stranih kompanija na domaće tržište. Između ostalog, pravni čimbenici se mogu pozitivno ili negativno slagati sa strategijama poslovnog subjekta i korporacije, što značajno utječe na odabir područja (tržišta).

Nakon izvršene analize makrolokacijskih čimbenika, temeljem sustavne selekcije pristupa se analizi mikrolokacije, čiji su čimbenici spoznati proučavanjem literature [21]:

a) površina i konfiguracija parcele
b) urbanistički plan područja i planovi razvoja
c) subvencioniranje od strane lokalnih vlasti
d) blizina mreže javnog gradskog prometa
e) cijena izgradnje centra i otkupa zemljišta
f) blizina servisnog centra za teretna vozila
g) percepcija užeg područja stanovništva o izgradnji centra

[68] Ibidem.

Na odabir konačne lokacije logističko-distribucijskog centra značajno utječe veličina katastarske čestice i konfiguracija parcele. Ukoliko na određenoj površini zemlje postoji više vlasnika parcela, odnosno katastarskih čestica, potrebno je izbjegavati izgradnju logističkog centra na istoj, kako bi se izbjegli sukobi interesa i ciljeva sa vlasnicima manjih parcela. Iz tog razloga, prihvatljivije je odabrati zemljišnu površinu koja leži u vlasništvu lokalnih vlasti. U razgovoru sa lokalnim vlastima, između ostalog, odlučuje se o otkupu zemljišta kroz najamninu ili jednokratnom otkupu. U pogledu veličine parcele, razmatranjem literature [21], spoznalo se da ona mora biti dostatna za smještaj osnovnih i pratećih objekata koji su u funkciji administrativnog i operativnog upravljanja logističkim centrom. U praksi je slučaj da logističko-distribucijski centri nemaju jednaku površinu, koja je uvjetovana namjenom, funkcijom i položajem centra u logističkoj mreži. Ipak, pri vrednovanju veličine parcele, potrebno je imati u vidu mogućnost prostornog proširenja teritorija koji pripada logističkom centru. Ukoliko veličina parcele zadovoljava prostorne uvjete za izgradnju logističkog centra, pristupa se analiziranju reljefnih karakteristika terena koje mogu pozitivno ili negativno utjecati na ukupne troškove izgradnje i funkcionalnost logističkog centra[69]. Reljefni oblici koji povećavaju troškove niveliranja površine su valovitost i nagib terena. U pogledu tehničke izvedbe prometne infrastrukture i suprastrukture, razmatranjem literature [21], spoznalo se da teren mora biti dostatne nosivosti kako bi primio visoka statička opterećenja, čije sile generiraju uskladištena roba, objekti, asfaltna površina, mehanizacija i prijevozna sredstva.

Infrastrukturno uređenje ili modernizacija perifernog područja, osobito gospodarskih zona, sukladno urbanističkim javnim prostornim planovima razvoja može biti od bitnog značaja za privlačenje lokacije logističko-distribucijskog centra[70]. U suprotnome, ako već postoji lokacija, može biti poticaj za izgradnju suvremenog logističkog parka ili gospodarske zone s inovativnim tehnologijama i visokom učinkovitošću rada. Razmatranjem literature [21], spoznalo se da logistički centar ponekad zahtjeva prilagođavanje lokalnih planova infrastrukturnog uređenja, od kojih se mogu izdvojiti sljedeći elementi: oblik i veličina objekata, izgradnja pristupačnih prometnica za javne i privatne službe, oblik i veličina zelenih površina, arhitektura energetskih, komunalnih i vodoopskrbnih instalacija.

[69] Ibidem.
[70] Ibidem.

Na privlačenje lokacije utječe i spremnost lokalnih vlasti na subvencioniranje u projektu izgradnje logističko-distribucijskog centra. U razmatranju literature [6], spoznalo se da sa investicijski projekti, poput logističkih centara, najčešće realiziraju kroz model javno-privatnog partnerstva, u kojem lokalne vlasti imaju određeni postotni udio u vlasništvu kapitala.

Dosada je već više puta napomenuto da je povezanost sa različitim vidovima prijevoza ključni čimbenik odabira lokacije centra, ali se nijednom nije spomenulo koja je pogodna lokacija centra obzirom na urbanu cestovnu mrežu. Odgovor na to pitanje su prometnice visoke brzine, tj. državne i brze ceste namijenjene teškom tranzitnom prometu, a razmatranjem literatura [9] i [18], spoznale su se sljedeće tehničke karakteristike brzih cesta:

a) velika propusna moć cestovnih jedinica, ali srednji intenzitet
b) minimalna dopuštena nosivost za statička i dinamička opterećenja koja generiraju cestovna teretna vozila
c) računska brzina v_r = 100 (80) [km/h]
d) izravna povezanost sa perifernim gospodarskim zonama
e) izravna povezanost okolne regije s naseljem
f) izravna povezanost sa autocestom i urbanom cestovnom mrežom

3.3. Identifikacija parametara lociranja logističko-distribucijskog centra

Pored makrolokacijskih i mikrolokacijskih čimbenika određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra, mogu se definirati osnovni parametri lociranja istih. Premda se u literaturama češće obrađuju parametri izgradnje logističko-distribucijskih centara nego li parametri lociranja, ipak između njih postoji razlika. Pod parametrima se razumijevaju promjenljive veličine koje utječu na lociranje logističko-distribucijskih centara. Razmatranjem literature [9] i [18], spoznali su se osnovni parametri lociranja logističko-distribucijskih centara, od kojih su sljedeći:

a) Investicija - logističko-distribucijski centar je sa investicijskog aspekta zahtjevan projekt ne samo zbog izgradnje infrastrukturnih i suprastrukturnih elemenata već i zbog budućih ulaganja u ekstenziju poslovnog okruženja. Kapital namijenjen na početno funkcioniranje centra može se prikupiti iz javnih i privatnih izvora.
b) Stupanj razvoja prometne infrastrukture - povezanost sa cestovnim, željezničkim i unutarnjim plovnim koridorima. Nazivna propusna moć, sigurnost, prateća signalizacija i objekti, čine kvalitativne pokazatelje izgrađene infrastrukture.

c) Struktura robnih tokova - objašnjava kvantitativne značajke kretanja robe, od kojih se mogu izdvojiti frekvencija, smjer i udio pojedinih vrsta roba u ukupnim kretanjima robnih tokova koje prolaze kroz regionalno prostorno područje potencijalno za smještaj logističko-distribucijskog centra.
d) Ljudski resursi - obrazovni sustav mora biti oslonac dugoročnog razvoja društva u cijelosti. Logistički sustav zahtjeva visokoobrazovnu i kvalificiranu radnu snagu koja je sposobna rukovoditi logističkim procesima s ciljem njihove realizacije, gdje se očituje produktivnost radne snage.
e) Veličina parcele - ovisno o infrastrukturnim, tehnološkim i organizacijskim potrebama centra površina parcele treba osigurati dostatni prostor za smještaj osnovnih i pratećih objekata i terminala. Potrebna veličina zemljišta utvrđuje se dimenzioniranjem strukture terminala te osnovnih i pratećih objekata različitih funkcija.

3.4. Identifikacija kriterija za lociranje logističko-distribucijskog centra

Kod planiranja logističko-distribucijskog centra, napose u procesu vrednovanja ili ocjenjivanja lokacije, potrebno je pristupiti metodi višekriterijskog odlučivanja za određivanje optimalne lokacije, od kojih se mogu izdvojiti: AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS i drugi. Zavisno od ekonomskih i geografskih karakteristika potencijalnog prostora za lokaciju mogu se identificirati brojni kriteriji za lociranje centra, koji su se spoznali proučavanjem literature [18]. To su:

a) Ekonomska moć regije/pokrajine/županije
b) Tehničko-tehnološki kriterij
c) Robni tokovi
d) Prostorni kriterij
e) Organizacijski kriterij

Razina ekonomske razvijenosti regije/pokrajine/županije, u kojoj se želi smjestiti logističko-distribucijski centar je od izuzetne važnosti. Relevantni ekonomski pokazatelji za privlačenje centra su iznos bruto domaćeg proizvoda (BDP-a) po glavi stanovnika promatrane prostorne površine, kupovna moć i kretanje (tendencija) prometa u maloprodajnoj mreži. Međutim, logističko-distribucijski centar je poslovni koncept koji se temelji na kolaboraciji sa klijentima (korisnicima centra) te ih menadžment smatra i tretira kao najveću dragocjenost. Stoga se najveća moguća pozornost posvećuje povjerenju u zadovoljstvu klijenata. Kako bi se

to postiglo, kompanija kontinuirano radi na poboljšanju kvalitete logističke usluge. Ukoliko su gospodarski subjekti, kao potencijalni klijenti, slabo razvijeni na promatranom području, menadžmentu logističkog centra prijeti opasnost egzistencije i gubitka kapitala uvjetovano visokim troškovima održavanja i padom tržnog prometa. Prema tome, regija ili pokrajina ili županija, koja oskudijeva i zaostaje u ekonomskom pogledu za drugima, teško da uskoro može dočekati izgradnju logističkog centra, osim posebnih iznimki.

Vrlo bitan kriterij kod lociranja je utvrđivanje postojeće infrastrukture koja mora biti na osnovnoj razini. Postojeća razina infrastrukture pozitivno ili negativno utječe na visinu troškova izgradnje logističkog centra. Pod osnovnom razinom razumijeva se postavljanje energetske, komunalne i vodoopskrbne duž cestovne infrastrukture. U vidu jednostavnijeg prometnog povezivanja sa ostalim logističko-distribucijskim centrima, čime tvore složenu logističku mrežu, poželjno ih je locirati uz glavne europske cestovne koridore, s mogućnošću priključka na željeznicu i/ili unutarnje plovne putove i/ili aerodrom u naredno vrijeme. Geoprometna lokacija koja već ima zamaha u razvoju prometnog sustava omogućava: veći stupanj konkurentnosti, mogućnost smanjenja cijena proizvoda, povećanje produktivnosti proizvodnje i proširenje gravitacijske zone. Također, u vidu što kvalitetnijeg povezivanja sfere proizvodnje i potrošnje, zbog čega prijevozni troškovi i dalje drže vodstvo u ukupnim logističkim troškovima, logističke je centre poželjno locirati u blizini gospodarsko-poslovnih zona, čime se reducira varijabilnost prijevoznih troškova. Ako se radi o lociranju logističkog centra u područje industrijskog kompleksa, koji adekvatno preuzima i pohranjuje gotove proizvode, treba uzeti u obzir kvalitetu usluge proizvođača pod kojom se razumijeva: produktivnost rada, dostupnost kooperanata i njihova kvaliteta isporuke. Lociranje skladišnih objekata i distribucijskih centara u blizini obrazovnih institucija nije ključan kriterij kao prethodni, ali ga ne treba zanemariti, zbog privlačenja potencijalnih stručnih kadrova i učinkovite kolaboracije između znanstvenih i poslovnih institucija. Održavanjem različitih javnih konferencija, savjetovališta i stručnih praktikuma od strane gospodarskog subjekta, mogu privući se željeni, zanimljivi, nadasve potencijalni ljudski potencijali koji mogu doprinijeti prosperitetu tvrtke.

4. METODE ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKIH CENTARA

Lokacija logističko-distribucijskog centra ima veliki utjecaj na ekonomičnost i rentabilnost poslovanja cijelog poduzeća, budući da o njoj zavisi visina skladišnih i transportnih troškova. Izbor pravilne lokacije skladišta osigurava kvalitetu distribucijskih usluga, nesmetano odvijanje procesa distribucije uz minimalne troškove, te kraći transportni put od skladišta do mjesta potrošnje robe.

U vidu uspješnog provođenja odabira lokacije logističko-distribucijskog centra nužno je provesti sustavni postupak uz uporabu prikladnih i odgovarajućih lokacijskih metoda i tehnika, koje se mogu svrstati u tri kategorije[71]:

a) empirijske metode - „procjene od oka“
b) metode matematičke prirode - uporaba matematičkih formula
c) metode računalne prirode - uporaba programskih alata na računalu

U razmatranju literature [21], spoznalo se da je odluka o lokaciji logističko-distribucijskog centra temeljem okvirne (paušalne) procjene, tj. empiriji donositelja odluke, vrlo rizična i neprecizna, zbog čega je upitan prosperitet poslovanja. Premda u ovoj odluci sudjeluje samo ljudski faktor, što i nije začuđujuće, ipak je utemeljena bez matematičke podrške te je zbog toga rizična. Stoga se u suvremenom poslovanju pri određivanju lokacije koriste metode matematičke prirode, kao i različiti programski alati na računalima. Za rješavanje poslovnih problema kod odabira lokacije logističko-distribucijskog centra razvijeno je nekoliko metoda matematičke prirode. Metode podržane matematičkim putem dobivanja krajnjeg rezultata, preciznije su i svestranije od teorijskih metoda, koji su utemeljeni na zakonima fizike. Među matematičkim njima, mogu se navesti najvažnije[72]:

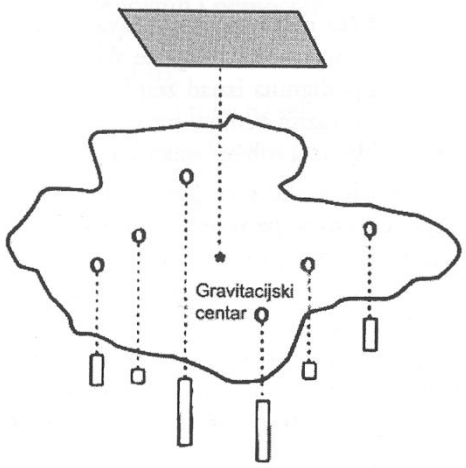
a) metoda centra gravitacije ili centroida - koristi se pri određivanju jedne lokacije logističkog centra
b) metoda gravitacije s više centara ili multicentar gravitacijska metoda - koristi se pri određivanju dvaju ili više lokacija logističkog centra

[71] Rogić, K.: Predavanja iz kolegija Distribucijska logistika I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011./2012. (skripta)
[72] http://nastava.sf.bg.ac.rs/pluginfile.php/10585/mod_resource/content/0/vezbe/LOKACIJSKI_MODELI.pdf

c) metoda medijan - koristi se prilikom određivanja jedne lokacije logističkog centra te se smatra najboljom alternativom metodi centra gravitacije, jer u određenim uvjetima ponekad daje egzaktnije rezultate

4.1. Povijesne gravitacijske metode za određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra

Povijesne se metode zasnivaju na jednostavnim matematičkim izrazima i zakonima fizike, kao što je metoda centra gravitacije po Devon modelu, koja je 1930. godine služila za određivanje lokacije skladišnog objekta u Engleskoj pokrajini Devon[73]. Ova lokacijska metoda temelji se na pronalasku točke ravnoteže na promatranoj površini. Razmatranjem literature [21], ustanovilo se da su znanstvenici krenuli od hipoteze da je opseg potražnje izravno proporcionalan broju stanovnika u pojedinim naseljima pokrajine. U svrhu determiniranja točke ravnoteže, tj. lokacije, konstruirana je mapa koja poprima iste oblike kao i pokrajina. Na mapi bi se napravile rupice koje predstavljaju naselja, na kojima bi se objesili utezi. Masa utega u gramima na svakoj rupici bile bi ekvivalent veličini potražnje u gradovima ili naseljima izraženim u tonama[74]. Na primjer, ako potražnja u gradu iznosi 12 tona robe, tada se istom gradu dodjeljuje uteg od 12 grama. Prema tome, optimalna lokacija pokrajine bi, u pravilu, predstavljala točku ravnoteže mape, kao što to ilustrira Slika 11. U tom slučaju, optimalna lokacija pruža najbolji omjer veličine potražnje i prostorne udaljenosti.



Slika 11. Odabir lokacije skladišnog objekta po modelu Devon

Izvor: Rogić, K.: Predavanja iz kolegija Distribucijska logistika I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011./2012. (skripta)

[73] Rogić, K.: Predavanja iz kolegija Distribucijska logistika I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011./2012.
[74] Ibidem.

Iz iste literature, ustanovilo se da je, bez matematičke podrške, ova metoda vrlo neprecizna. Međutim, njezina primjena ukazala je na relevantne parametre i utjecajne čimbenike pri određivanju lokacije skladišnog objekta, kao što je razina potražnje za robom i prostorna udaljenost između lokacije i grada.

4.2. Klasična metoda centra gravitacije ili metoda centroida

Cilj ove metode je determinirati optimalnu lokaciju kao centar ekonomskih aktivnosti, koja će ponuditi najpovoljniji omjer između ukupnih prijevoznih troškova logističkog centra i prostorne udaljenosti od centra do kupca. Metodu centra gravitacije prvi je razvio Keffer 1934. godine te ju je podijelio u dva osnovna koraka[75]:

a) određivanje lokacije primjenom metode „težišta“
b) određivanje lokacije primjenom metode „tona-kilometar“

Proučavanjem literature [21], spoznalo se da se metoda može koristiti samostalno, radi utvrđivanja lokacije ili kao metoda prve aproksimacije u drugim sofisticiranijim metodama, osobito ako je riječ o određivanju jednog objekta. Također, spoznalo se da su njene osnovne prednosti jednostavnost prilikom primjene i utemeljenost na matematičkim formulama, dok su joj nedostaci što ne uzima u obzir relevantne parametre kao što su postojanje sustava infrastrukture, fiksne troškove rada, zemljišta, zaliha, energije te ostale elemente koji su bitni pri donošenju odluke menadžmenta o lokaciji.

Osim za određivanje lokacije logističkog centra, metodu je moguće primjenjivati i za određivanje[76]:

a) lokacije terminala
b) smještaja proizvodnih pogona u tvornici
c) smještaja strojeva u pogonu
d) pozicije uredskog stola u uredu
e) položaja radnika na radnom mjestu

U razmatranju literatura [21] i [23], spoznalo se da se metoda centra gravitacije zasniva na linearnom programiranju, u kojoj je promjena rezultante proporcionalna promjeni varijable uzete iz zadanog sustava linearnih jednadžbi i nejednadžbi. Drugim riječima, metode

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

se baziraju na postavljanju lokacija potrošačkih centara (gradova, naselja) u Kartezijanski koordinatni sustav po osi „x“ i „y“, nakon čega se uvrštavanjem parametara u odgovarajuću matematičku formulu dobiva rezultanta, koja sadrži koordinatne vrijednosti $(\bar{X}, \bar{Y})$, što je, također, spoznato razmatranjem istih literatura. Prva spomenuta metoda služi za određivanje lokacije na određenom prostornom području, dok druga metoda služi za optimizaciju prve lokacije dodavanjem novog parametra.

Optimalna lokacija po metodi centra gravitacije je točka u kojoj je suma prijevoznih troškova između postojećih točaka (kupaca) i generirane lokacije logističko-distribucijskog centra najmanja. Razmatranjem literature [23], ustanovljena je osnovna funkcija cilja za minimalne prijevozne troškove, koja glasi:

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

gdje su:

TC - ukupni prijevozni troškovi [novč. jedinica]

N - broj točaka (kupaca)

V_i - volumen robne potražnje u točki i [t]

R_i - jedinični trošak prijevoza do točke i [novč. jedinica]

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

Također, ustanovljeno je da se parametar d_i može izraziti primjenom Pitagorinog poučka ili Euklidove metrike te se iz Grafikona 1. može izvući formula kojom se udaljenost d_i definira kao:

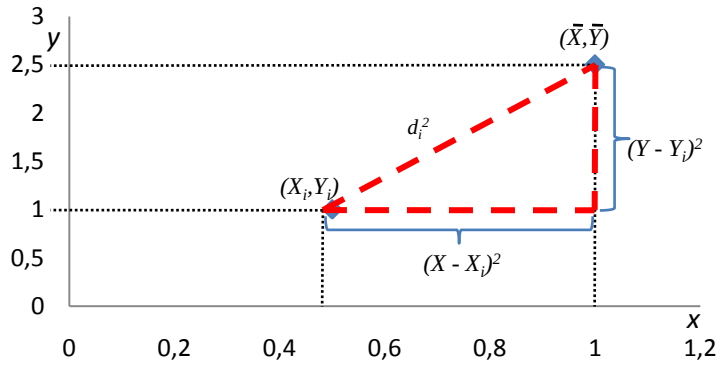
$$d_i = K \cdot \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} + Y_i)^2} \qquad (2)$$

gdje su:

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

X_i,Y_i - koordinate točaka (kupaca)

K - Jedinična vrijednost u koordinatnom sustavu (korektivni faktor udaljenosti)



Grafikon 1. Pitagorin poučak o udaljenosti

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Zatim se, uvrštavanjem formule (2) u (1) dobiva prošireni izraz, koji glasi:

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

U razmatranju literature [23], ustanovilo se da se radi o konveksnoj funkciji s jednim minimumom. Kako bi se funkcija pojednostavila potrebno je pronaći skup vrijednosti varijabli koji će dati željeni ekstrem funkcije cilja. Da bi se ostvario cilj minimuma funkcije, potrebno ju je parcijalno derivirati, po neovisnim varijablama $(\bar{X}, \bar{Y})$. Nakon parcijalnog deriviranja dobivene rezultate potrebno je izjednačiti s nulom te riješiti sustav jednadžbi kako bi se dobila optimalna vrijednost. Prilikom parcijalnog deriviranja vrijednost *K* će se zanemariti, zbog toga što je *K* jedinična vrijednost Kartezijanskog koordinatnog sustava *(x,y)*.

Parcijalnim deriviranjem formule (3) po varijablama $(\bar{X}, \bar{Y})$ dobiju se sljedeći rezultati[77]:

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

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

Pojednostavljenjem izraza dobivaju se formule koje se koriste pri izvedbi metode „težišta“ i „tona-kilometar“[78]:

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

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

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

Kod izračunavanja težinskog prosjeka koordinatnog sustava, koji se dobiva metodom „težišta“, potrebno je zanemariti parametar d_i.

Obzirom da su veličine V_i i R_i poznate i vrijede za svaku točku i, može se odrediti težina w_i koja je korespondentna objektu i, pa izraz glasi[79]:

$$w_i = V_i \cdot R_i \qquad (6)$$

čime se dobiva sljedeći oblik:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i \cdot X_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{d_i}} \qquad (7)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i \cdot Y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{d_i}} \qquad (8)$$

Koordinate lokacije $(\bar{X}, \bar{Y})$ predstavljaju težinski prosjek (X_i,Y_i) koordinata postojećih točaka (kupaca), pa se tek nakon primjene Euklidove metrike dobivaju vrijednosti optimalne lokacije.

Na osnovu izvedenih formula, koraci u rješavanju lokacijskog problema metodom centra gravitacije su sljedeći[80]:

a) Odrediti aproksimativne vrijednosti generirane lokacije $(\bar{X}, \bar{Y})$ u koordinatnom sustavu pomoću prethodno navedene formule zanemarujući parametar udaljenosti d_i.
b) Na temelju poznatih koordinata $(\bar{X}, \bar{Y})$ iz prvog koraka potrebno je izračunati aritmetičku sredinu sustava d_i.
c) Izračunati ukupne prijevozne troškove u prvoj iteraciji.
d) Poznati parametar d_i potrebno je uvrstiti u formulu (4) i (5) kojom se dobivaju koordinate optimizirane lokacije $(\bar{X}, \bar{Y})$.
e) Ponovno izračunati prostornu udaljenost d_i.
f) Izračunati ukupne troškove u drugoj iteraciji.

[79] Ibidem.
[80] Ibidem.

g) Ponavljati korake *d, e* i *f* sve dok koordinate u slijedećoj iteraciji ostanu identične ili se njihov iznos zanemarivo promijeni, što znači da je tražena funkcija dosegla svoj minimum pri uvjetu optimalnosti.
h) Ako se vrijednosti neznatno promijene, izračunati konačne ukupne troškove prijevoza.

4.3. Metoda medijan

Metoda centra gravitacije nije jedina metoda matematičke prirode koja se analizira i primjenjuje u praksi. U razmatranju literature [23], spoznalo se da metoda medijan pripada skupini lokacijskih metoda matematičke prirode koja se ne zasniva na linearnom programiraju, kao prethodna metoda, već na kumulativnoj težini. Metoda se koristi za rješavanje lokacijskog problema jednog objekta na određenom prostornom području, odnosno distribucijskoj mreži.

Metoda medijan se koristi na dvije različite razine[81]:

a) na prostoru šireg područja lokacije logističkog centra gdje problem nastaje zbog potrebe lociranja skladišnog objekta koji preuzima robu sa proizvodnih linija ili distribucije robe prema disperziranim objektima maloprodajne mreže
b) na prostoru užeg područja lokacije logističkog centra gdje problem nastaje zbog potrebe dodavanja novih elemenata (radnih strojeva) u funkciji povećanja učinkovitosti proizvođača

Postupak rješavanja lokacijskog problema metodom medijan u određenoj mjeri vrlo je sličan prethodnoj metodi, jer se kao konačno rješenje uzima samo jedna generirana optimalna lokacija s koordinatama $O(\bar{X}, \bar{Y})$, u kojoj se računaju minimalni ukupni troškovi distribucije između lokacije i maloprodajnih objekata. Zbog potrebe dobivanja konačnog rezultata, formula za izračunavanje ukupnih troškova distribucije zasniva se na funkciji cilja, koja glasi[82]:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i \cdot R_i \cdot [|X_i - \bar{X}| + |Y_i - \bar{Y}|] \qquad (1)$$

gdje su:

TC - ukupni prijevozni troškovi prijevoza ili distribucije od lokacije do objekta *i*

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

N - broj uključenih objekata u rješavanje problema

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

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

X_i,Y_i - koordinate maloprodajnih objekata i

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

S obzirom da umnožak parametara $V_i \times R_i$ odgovara težini w_i koja je korespondentna objektu i, može se definirati sljedeći izraz, koji glasi[83]:

$$w_i = V_i \cdot R_i \qquad (2)$$

Razmatranjem literature [23], spoznalo se da se uvrštavanjem formule (2) u (1) dobiva skraćeni matematički izraz, koji glasi:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot |X_i - \bar{X}| + \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot |Y_i - \bar{Y}| \qquad (3)$$

U skladu s dosada napisanim, postupak rješavanja lokacijskog problema prema ovoj metodi temelji se na sljedećim definiranim koracima[84]:

a) Za danu tablicu postojećih objekata i, poredati njihove koordinate X_i po rastućem (uzlaznom) redoslijedu.

b) Pronalaženje $\boldsymbol{j}$-te koordinate po osi x u tablici kreiranoj u prethodnom koraku u kojoj su kumulativne težine jednake ili prekoračuju polovinu ukupne težine. Određivanje $\boldsymbol{j}$-te koordinate temelji se na definiranoj formuli:

$$\sum_{i=1}^{j-1} w_i < \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \text{ i } \sum_{i=1}^{j} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \qquad (4)$$

c) Za danu tablicu postojećih objekata i, poredati njihove koordinate Y_i po rastućem (uzlaznom) redoslijedu.

[83] Ibidem.
[84] Ibidem.

d) Pronalaženje ***k***-te koordinate po osi *y* u tablici kreiranoj u prethodnom koraku u kojoj su kumulativne težine jednake ili prekoračuju polovinu ukupne težine. Određivanje ***k***-te koordinate temelji se na definiranoj formuli:

$$\sum_{i=1}^{k-1} w_i < \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \text{ i } \sum_{i=1}^{k} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} \qquad (5)$$

Na osnovu navedenih koraka, optimalna lokacije skladišnog objekta definira se pomoću ***j***-te koordinate na osi *x* i ***k***-te koordinate na osi *y*, koje se identificiraju u koracima *b* i *d*.

4.4. Metoda analitičkog hijerarhijskog procesa

Jedna od raširenijih i najpoznatijih metoda višekriterijskog odlučivanja je analitički hijerarhijski proces *(eng. Analityc Hierarhic Process)*, koju je razvio Thomas L. Saaty 1980. godine[85]. U međunarodnom poslovnom okruženju popularno se zove AHP-e, što je akronim od punog naziva. Proučavanjem literature [24], spoznalo se da je koncept AHP-ea namijenjen rješavanju lokacijskih problema u kojima sudjeluje više donositelja odluka iz različitih gospodarskih sektora s različitim subjektivnim mišljenjima, odnosno služi za rangiranje alternativa uzimajući u obzir relevantnost kriterija. Osim toga, metoda odlikuje fleksibilnim izvođenjem procesa odlučivanja te donositeljima odluka omogućava jednostavnost postavljanja prioriteta i donošenje kvalitetnih odluka obuhvaćajući kvalitativne i kvantitativne aspekte odluke.

4.4.1. Teorijske osnove AHP-e metode

Model (hijerarhijsku strukturu) AHP-e metode (vidi Sliku 12.) čine elementi, pri čemu je na vrhu cilj, a na prvoj nižoj razini su glavni kriteriji, koji obuhvaćaju nekoliko potkriterija[86]. Na najnižoj razini nalaze se alternative koji su unakrsno povezani sa glavnim kriterijima, odnosno potkriterijima. Rješavanje složenih problema odlučivanja pomoću ove metode temelji se na njihovoj dekompoziciji u hijerarhijsku strukturu, čiji elementi su cilj, kriteriji (potkriteriji) i alternative, nakon čega slijedi međusobna usporedba elemenata

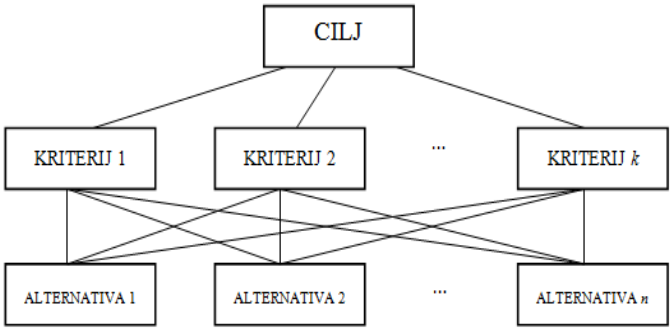
[85] http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf
[86] Ibidem.

hijerarhije u parovima[87]. Kao druga važna komponenta AHP-e metode slijedi postupak određivanja težinskog faktora (prioriteta) svih elemenata koji su na istoj razini hijerarhijske strukture pomoću matematičkog modela.

Razmatranjem literature [24], uočeno je da metoda strukturira problem odlučivanja i usmjeruje proces donošenja odluke od definiranja cilja, kriterija i alternativa do usporedbe kriterija i alternativa, kao zasebnih elemenata, u parovima. Rezultati izvođenja metode su poredak alternativa po važnosti, informacije o težinskim koeficijentima kriterija u odnosu na cilj i potkriterija u odnosu na kriterije te analiza osjetljivosti rezultata pomoću koje se provjerava stabilnost dobivenih rezultata na način da se simulira odnos između težina kriterija i prioriteta alternativa.

Primjena AHP-e metode za donošenje poslovnih odluka može se objasniti u četiri osnovna koraka[88]:

a) Kreira se model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i potkriterijima u srednjim razinama te alternativama na najnižoj razini.
b) Na svakoj razini hijerarhijske strukture međusobno se uspoređuju elementi u parovima, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju pomoću Saatyeve skale relativne važnosti koja ima pet stupnjeva i četiri međustupnja.
c) Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema pomoću odgovarajućeg modela izračunavaju se prioriteti (lokalne težine ili ponderi) kriterija i alternativa koji se sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa.
d) Provodi se analiza osjetljivosti.



Slika 12. Osnovni model analitičkog hijerarhijskog procesa

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema http://hrcak.srce.hr/file/41390

[87] Ibidem.
[88] http://hrcak.srce.hr/file/41390

Strukturiranje hijerarhije omogućuje donositelju odluke opći uvid u kompleks relacija među elementima hijerarhije te mu pomaže da utvrdi homogenost elemenata, odnosno da li su elementi usporedivi. U drugom koraku postupka odlučivanja primjenjuje se Saatyeva ljestvica relativne važnosti, koja je prikazana u Tablici 4.

U svrhu kvalitetnijeg razumijevanja, Saaty i njegovi suradnici su postavili četiri sljedeća aksioma na kojima se zasniva AHP-e metoda[89]:

a) Aksiom recipročnosti - ako je element ***A n*** puta značajniji od elementa ***B***, tada je element ***B 1/n*** značajniji od elementa ***A***.
b) Aksiom zavisnosti - dopuštena je usporedba među grupom elemenata jedne razine u odnosu na element više razine, tj. usporedbe na nižoj razini ovise od elemenata više razine.
c) Aksiom homogenosti - Usporedba je moguća ako su elementi usporedivi.
d) Aksiom očekivanja - Svaka promjena u modelu zahtijeva ponovno računanje težina u novoj hijerarhiji.

Tablica 4. Saatyeva ljestvica relativne važnosti

Značaj	Definicija	Objašnjenje
1	Jednakog značaja	Dva elementa su identičnog značaja u odnosu na cilj
3	Slaba dominacija	Na osnovu empirije ili procjene daje se umjerena prednost jednom kriteriju ili alternativi u odnosu na drugi
5	Jaka dominacija	Na osnovu empirije ili procjene da je se znatna prednost jednom kriteriju ili alternativi u odnosu na drugi
7	Vrlo jaka, dokazana dominacija	Jedan se kriterij ili alternativa izrazito favorizira u odnosu na drugi, čija je dominacija dokazana u praksi
9	Apsolutna dominacija	Dokazi na osnovu kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću.
2,4,6,8	Međuvrijednosti	Potreban kompromis i daljnja podjela

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf

4.4.2. Matematički model

Rezultati usporedbe elemenata na identičnoj razini hijerarhijske strukture svrstavaju se u odgovarajuću matricu. U razmatranju literature [24], spoznalo se da ako se međusobno uspoređuje ***n*** elemenata, bilo kriterij, potkriterij ili alternativa, u odnosu na element na višoj razini hijerarhije, tada se pri usporedbi elemenata ***i*** u odnosu na element ***j*** putem Saatyeve

[89] http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf

ljestvice određuje numerički koeficijent a_{ij} te se stacionira na odgovarajuću poziciju u matrici **„A“**. Recipročna vrijednost rezultata usporedbe se stacionira na poziciji a_{ji} da bi se održala konzistentnost procjenjivanja, kao što to prikazuje matematički izraz dolje ispod[90]. Na primjer, ako je element ***1*** neznatno favoriziran u odnosu na element ***2***, na poziciji a_{12} matrice **„A“** dodjeljuje se znamenka **3**, a na poziciji a_{21} dodjeljuje se recipročna vrijednost, ***1/3***.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \qquad (1)$$

U gornjoj matrici **„A“** element ***i*** može označavati kriterij, potkriterij ili alternativu, dok ***n*** izražava njihovu brojnost. U razmatranju literature [24] i [35], spoznalo se da je težinske koeficijente relativne važnosti w_i potrebno odrediti na osnovu procjene vrijednosti njihovih omjera koji se označavaju matematičkom notacijom $a_{ij} = w_i / w_j$ gdje vrijedi za $i, j = 1, ..., n$. Od omjera relativnih važnosti a_{ij} formira se matrica relativnih važnosti **„A“**. Da bi se iz matrice izdvojile vrijednosti vektora težinskih koeficijenata $w_i = \{w_1, w_2, ..., w_n\}$, Saaty je predložio da se iz matrice odredi njena najveća svojstvena vrijednost λ_{max}. Odgovarajući vektor svojstvenih vrijednosti matrice može se zatim uzeti kao vektor približnih vrijednosti težinskih koeficijenata. Matrica za slučaj konzistentnih procjena (koje se gotovo uvijek pojavljuju), za koje vrijedi $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$, zadovoljava jednadžbu[91]:

$$Aw = nw \qquad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \qquad (3)$$

gdje je ***w*** vektor težina.

[90] Ibidem.
[91] Ibidem.

Iz matematičke notacije vidljiv je umnožak matrice ***„A“*** i vektora težina s desna koji daje ***nw***, gdje je ***n*** svojstvena vrijednost matrice ***„A“***, pa je prema tome i ***w*** svojstveni vektor prioriteta. Ako je ***n*** svojstvena vrijednost matrice, jednadžba ***Aw=nw*** ili ***(A-nI)w=0*** ima netrivijalno rješenje, tj. determinanta matrice $\boldsymbol{det_{(A-nI)}=0}$[92]. Desno rješenje sastavljeno je od pozitivnih vrijednosti elemenata matrice. Razmatranjem literature [24], spoznalo se sljedeće. Kako bi svojstveni vektor ***w*** bio jedinstven, vrijednosti matrice (elementi) se normaliziraju dijeljenjem s njihovom sumom, koja daje normaliziranu verziju stupca matrice ***„A“***. Elementi $\boldsymbol{a_{ij}}$, od kojih je formirana matrica, pozitivni su i zadovoljavaju aksiom recipročnosti $\boldsymbol{a_{ji} = 1/a_{ij}}$. Matrica zadovoljava i svojstvo konzistencije jer zadovoljava $\boldsymbol{a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}}$ gdje vrijedi za ***i, j, k = 1, ..., n***.

Druga tehnika koja se koristi za određivanje vektora težinskih koeficijenata ***w***, uključuje sumiranje redova matrice rezultata usporedbe i normaliziranje dobivene sume, jer je[93]:

$$\sum_{j=1}^{n} \frac{w_i}{w_j} = w_i \left(\sum_{j=1}^{n} \frac{1}{w_j} \right) \quad za \ j = 1, \dots, n \qquad (4)$$

Osim prethodne, vektor težinskih koeficijenata može se dobiti normalizacijom sume recipročnih vrijednosti u koloni, gdje se koristi izraz[94]:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{w_i}{w_j} = \frac{1}{w_j} \left(\sum_{i=1}^{n} w_i \right) \quad za \ i = 1, \dots, n \qquad (5)$$

4.4.3. Konzistentnost AHP-e metode

Kreator AHP-e metode, Thomas L. Saaty, uveo je matricu u kojoj se relativno rangiraju kriteriji $\boldsymbol{a_{ij}}$, odnosno elementi vrijednosne matrice. Međutim, kod kreiranja matrice gdje je neizostavan ljudski čimbenik - psiha, može rezultirati određenim nepodudarnostima, odnosno ne konzistencijom relativnih težina[95]. Donositelj odluke je, naime, rijetko konzistentan pri procjenjivanju vrijednosti ili odnosa kvalitativnih elemenata u hijerarhiji. Stoga je AHP metoda, prije svega, prilagođena identificiranju i ukazivanju na

[92] Ibidem.
[93] Ibidem.
[94] Ibidem.
[95] Ibidem.

nekonzistentnost donositelja odluke u procesu procjenjivanja i vrednovanja elemenata hijerarhije. Na taj način, metoda ublažava greške i obavještava donositelja odluke o indeksu nekonzistentnosti. U momentu kada je moguće precizno odrediti vrijednosti težinskih koeficijenata svih elemenata usporedbe, tada su svojstvene vrijednosti matrice potpuno konzistentne, tj. ispunjen je uvjet gdje je indeks nekonzistentnosti < 0,1.

Svojstvo AHP metode je takvo da redundantnost uspoređivanja elemenata u parovima pozitivno utječe na osjetljivost grešaka u procjenjivanju, tj. analiza osjetljivosti sadržavat će pouzdane rezultate. Pomoću svojstva mjerenja grešaka pri procjenjivanju, moguće je izračunati indeks i stupanj konzistencije. U cilju izračuna stupnja konzistentnosti ***(CR)***, prvo je potrebno odrediti indeks konzistentnosti ***(CI)***, prema izrazu koji glasi[96]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{1 - n} \qquad (6)$$

gdje je:

λ_{max} - maksimalna svojstvena vrijednost matrice usporedbe

n - broj elemenata matrice

Zbog svojstva matrice vrijedi da je $\boldsymbol{\lambda_{max} \geq n}$. Razlika $\boldsymbol{\lambda_{max} - n}$ se koristi u mjerenju konzistencije. Što je $\boldsymbol{\lambda_{max}}$ bliži $\boldsymbol{n}$, procjena je konzistentnija. Kako bi se odredio $\boldsymbol{\lambda_{max}}$, nužno je pomnožiti matricu usporedbe i vektor težinskih koeficijenata, iz čega proizlazi vektor ***b***, kao što to prikazuje sljedeći izraz[97]:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \qquad (7)$$

Dijeljenjem korespondentnih elemenata vektora ***b*** i ***w***, dobiva se[98]:

$$\begin{bmatrix} \frac{b_1}{w_1} \\ \frac{b_2}{w_2} \\ \vdots \\ \frac{b_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} \qquad (8)$$

[96] Ibidem.
[97] Ibidem.
[98] Ibidem.

nakon čega se konačno dobiva izraz za maksimalnu svojstvenu vrijednost matrice:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i \qquad (9)$$

Uvrštavanjem izraza (9) u (6) moguće je izračunati indeks konzistentnosti ***(CI)***, a potom i stupanj konzistentnosti ***(CR)***, koji predstavlja omjer indeksa konzistentnosti i slučajnog indeksa ***(RI)***[99]:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0{,}1 \qquad (10)$$

Programski alat *Expert Choice 2000*, koji je podoban za izvođenje AHP metode, sadrži opciju *Inconsistency* koja otkriva moguće greške i nekonzistentnost ljudske procjene. Na osnovu napisanoga, spoznalo se sljedeće. Ako donositelj odluke ocjeni da je element ***A*** važniji od elementa ***B***, ***B*** važniji od ***C*** i, na kraju, da je ***C*** važniji od ***A***, tada donositelj odluke u svojoj procjeni nije konzistentan. Da bi se ispunio uvjet konzistentnosti, donositelj odluke mora preferirati element ***A*** u odnosu na ***C***. Međutim, u praksi je nekonzistentnost učestala pojava u proceduri višekriterijskog odlučivanja, ne samo zbog utjecaja ljudske psihe, već i zbog nesavršenosti mjerne ljestvice.

4.5. Metoda ELECTRE

Metoda ELECTRE *(fran. ELimination Et Choix Traduisant de RElité, što u prijevodu znači „Eliminacija i izborno predstavljanje stvarnosti")* se ubraja u analize višekriterijskog odlučivanja koja je nastala sredinom 1960-ih godine[100]. U suradnji sa istraživačkim timom europske konzultantske kuće *SEMA*, Bernard Roy je patentirao višekriterijsku metodu koja se koristi pri odlučivanju o novim aktivnostima. Osim toga, metoda je omogućila poslovnim poduzećima jednostavnije rješavanje realnih problema koristeći tehnike ukupnih težina. Počeci primjene metode sežu u 1965. godinu kada je bilo potrebno odabrati najbolje aktivnosti od danog skupa aktivnosti, nakon čega se počela uspješno primjenjivati na tri glavna poslovna problema: odabiranje, rangiranje i sortiranje[101]. Zahvaljujući fleksibilnosti u rješavanju raznovrsnih realnih problema metoda je postala poznata diljem svijeta te je

[99] Ibidem.
[100] http://www.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/Outranking_Mousseau.pdf
[101] http://en.wikipedia.org/wiki/ELECTRE

nazvana ELECTRE I. Međutim, u kasnim šezdesetima prošloga stoljeća, postavilo se pitanje: *„Kako osnovati adekvatni sustav rangiranja časopisa?“*. To je dovelo do začeća ELECTRE II - metode za rješavanje realnih problema rangiranjem aktivnosti od najbolje do najlošije[102]. Potom su uslijedile još dvije inačice, ELECTRE III - utemeljena na pseudo-kriterijima i nejasnim višim odnosima, i ELECTRE IV - nastala radi potrebe rješavanja problema pariške podzemne željeznice, kojom je postalo moguće rangirati aktivnosti bez primjene relativne važnosti kriterijskih koeficijenata[103]. Sve navedene inačice ELECTRE metode prilagođene se rješavanju svakodnevnih problema u praksi vezanih za odabiranje, rangiranje i sortiranje aktivnosti ili alternativa u poslovnom okruženju, dizajniranju i malim hidroelektranama.

4.5.1. Osnovna obilježja ELECTRE metode

U ovom dijelu rada iznose se ključne odrednice ELECTRE metode. Primjenjuje se u situacijama kada je potrebno donijeti odluku za koje vrijede sljedeće specifičnosti[104]:

a) Model odlučivanja prilagođen je za rješavanje problematike u situacijama kada donositelj odluke obuhvati od 5 do 12 (13) kriterija.
b) Alternative se (za barem jedan kriterij) ocjenjuju po skali rednih brojeva ili malih intervala, koje nisu podobne za usporedbu razlika.
c) Stroga heterogenost koja se odnosi na prirodu evaluacijskih kriterija, što otežava ocjenjivanje po jedinstvenoj skali.
d) Donositelj odluke ne prihvaća kompenzaciju gubitka jednog kriterija radi stjecanja dobitka drugog kriterija - potrebna je ne kompenzacijska procedura ocjenjivanja alternativa.
e) Za barem jedan kriterij vrijedi sljedeće: male razlike u ocjenjivanju nisu značajne za označavanje preferencija, dok učinak nekoliko malih razlika može postati značajno.

Za kvalitetnije razumijevanje navedenih značajki metode, poslužit će spoznaje dobivene razmatranjem literature [31]. Neka skup $\boldsymbol{A}$ sadrži $\boldsymbol{n}$ alternativa: $\boldsymbol{A=\{a_1, a_2, ..., a_n\}}$. Svaka alternativa opisana je ili sadržava $\boldsymbol{k}$ atributa, tj. kriterija: $\boldsymbol{a_1=\{f_1, f_2, ..., f_k\}}$. Problem odlučivanja ELECTRE metodom je problem odabira one alternative iz skupa alternativa $\boldsymbol{A}$ koja je vrijednosno najbolja u odnosu na sve kriterije, što se može iskazati sljedećim izrazom:

[102] http://www.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/Outranking_Mousseau.pdf
[103] Ibidem.
[104] Ibidem.

$$max\ \{f_1(a_i), f_2(a_i), ..., f_k(a_i)\ \text{gdje je}\ a_i \in A\}$$

U nastavku razmatranja literature [31], spoznalo se sljedeće. Kako bi se svi kriteriji međusobno razlikovali po vrijednosti njima se dodjeljuju težinski koeficijenti $(w_1, w_2, ..., w_k)$, jer ne moraju svi kriteriji biti jednako važni. U tome se očitava relativna važnost pojedinih kriterija što omogućuje kvalitetnije rangiranje alternativa, tj. kriterija po ljestvici prioriteta. Idealno rješenje problematike odlučivanja jest vektor maksimalnih vrijednosti alternativa za svaki kriterij. Rang alternativa utvrđuje se tako da alternativa najbliža idealnom rješenju postavi na vrh ljestvice, dok se ostale alternative postupno rangiraju u skladu sa udaljenošću od idealnog rješenja.

4.5.2. Modeliranje preferencija

Preferencije ELECTRE metode se mogu modelirati primjenom binarne nadvišene relacije *(eng. binary outranking relations)*, gdje se binarnim vrijednostima označava preferencija između dva atributa[105]. Oznaka za preferenciju je slovo ***„S“***, a znači *„barem tako dobar kao“ (eng. at least as good as)*.

Razmatrajući odnos atributa *a* i *b*, mogu se pojaviti sljedeće situacije[106]:

a) *aSb i nije bSa → aPb (a strogo preferira nad b)*
b) *bSa i nije aSb → bPa (b strogo preferira nad a)*
c) *aSb nije bSa → aIb (a je indiferentna nad b)*
d) *nije aSb i nije bSa → aRb (a je neusporediv s b)*

Konstrukcija nadvišene relacije temelji se na dva glavna koncepta[107]:

a) *Podudarnost (konkordancija)* - da bi relacija *aSb* bila valjana većina kriterija bi trebala favorizirati ovu tvrdnju.
b) *Razilaženje (diskordancija)* - kada je postignut uvjet razilaženja, ni jedan od manjinskih kriterija ne smije jako kontrirati tvrdnji *aSb.*

[105] Ibidem.
[106] Ibidem.
[107] Ibidem.

Struktura ELECTRE metode sastoji se od dvije procedure[108]:

a) konstrukcija jednog ili više nadvišenih relacija, koja ima za cilj na sveobuhvatan način usporediti parove alternativa.
b) procedura iskoristivosti koja se koristi za elaboraciju preporuka od dobivenih rezultata iz prve faze, čija priroda ovisi o problematici odabira, rangiranja i sortiranja.

4.5.3. Koraci izvođenja ELECTRE metode

ELECTRE metoda je iterativan postupak koji se provodi u sljedećih devet koraka[109]:

a) Kalkulacija normalizirane matrice odlučivanja [R] - obuhvaćeni kriteriji ne moraju imati identične mjerne skale, pa se vrijednosti iz matrice normaliziraju prema sljedećem izrazu:

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

b) Kalkulacija normalizirane težinske matrice odlučivanja [V] - u kojem se normalizirana matrica [R] množi s matricom težina [W] odgovarajućih kriterija prema izrazu koji slijedi:

$$V_{ij} = N_{ij} \times W_{ij}$$

c) Određivanje skupa konkordancije i diskordancije - za svaki par alternativa vrijedi (a_k, a_1), gdje je $(k, l = 1, 2, ..., n), k \neq l$, a za skup indeksa kriterija $J = (1, 2, ..., n)$ dijeli se na dva podskupa:
   i. skup konkordancije $C_{kl}=\{ J; f_{kj} \geq f_{lj}\}$ *za* $j=1,2, ..., n$ *(gdje skup indeksa kriterija po kojima alternativa* a_k *nije slabija od alternative* a_1*)*
   ii. skup diskordancije $D_{kl}=\{ J; f_{kj} < f_{lj}\}$ *za* $j=1,2, ..., n$ *(gdje skup indeksa kriterija po kojima je alternativa* a_k *slabija od alternative* a_1*)*

d) Kalkulacija matrice konkordancije $[c_{kl}]$ - elementi matrice popunjavaju se dodjeljivanjem lokalnih težina $(W = \{W_1, W_{2, ..., } Wn\})$ na one pozicije gdje alternativa a_k nije slabija od alternative a_1, i to prema sljedećem izrazu:

[108] Ibidem.
[109] http://www.academia.edu/388213/Ranking_of_Strategic_Plans_in_Balanced_Scorecard_by_Using_Electre_Method

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

e) Kalkulacija matrice diskordancije [d_{kl}] - elementi matrice predstavljaju dominantne alternative u odnosu na druge alternative. Elementi se računaju prema sljedećem izrazu:

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

f) Kalkulacija dominacija u matrici konkordancije - faza u kojoj se određuje granična vrijednost $\underline{c}$ matrice konkordancije prema sljedećem izrazu:

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

Usporedbom vrijednosti svakog elementa matrice konkordancije s graničnom vrijednošću za svaki par alternativa konstruira se matrica [F]. Binarne vrijednosti svakog elementa matrice [F] utvrđuju se na sljedeći način:

$$f_{kl} = \begin{cases} 1, ako\ je\ c_{kl} \geq \underline{c} \\ 0, ako\ je\ c_{kl} < \underline{c} \end{cases}$$

g) Kalkulacija dominacija u matrici diskordancije - faza u kojoj se određuje granična vrijednost $\underline{d}$ matrice konkordancije prema sljedećem izrazu:

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

Usporedbom vrijednosti svakog elementa matrice diskordancije s graničnom vrijednošću za svaki par alternativa konstruira se matrica [G]. Binarne vrijednosti svakog elementa matrice [G] utvrđuju se na sljedeći način:

$$g_{kl} = \begin{cases} 1, ako\ je\ d_{kl} \geq \underline{d} \\ 0, ako\ je\ d_{kl} < \underline{d} \end{cases}$$

h) Kalkulacija agregirane matrice dominacije [E] - sadrži elemente e_{kl}, koji se računaju prema izrazu:

$$e_{kl} = f_{kl} \times g_{kl}$$

i) Eliminiranje najslabijih alternativa izvodi se nad onim alternativama koji u svom redu imaju niz $e_{kl}=0$, dok je alternativa koja ima niz od $e_{kl}=1$ dominantna u odnosu na ostale alternative. Tada je alternativa a_1 slabija od alternative a_k.

5. METODE ZA OCJENJIVANJE ALTERNATIVNIH LOKACIJA LOGISTIČKO-DISTIRBUCIJSKOG CENTRA

Ovo poglavlje obrađuje metode koje se ubrajaju u skupinu metoda matematičke prirode. U cilju dobivanja konačnih rezultata, potrebna je relativno niska razina znanja matematike izvođača metode. Na osnovu razmatranja literature [2], spoznalo se da ove metode simultano ispituju potencijalne vrijednosti privlačenja lokacije logističko-distribucijskog centra u cilju odabira optimalne. Obzirom da se u metodama primjenjuju jednostavni i laki matematički postupci, njihova svrha je na temelju istog odrediti paušalnu lokaciju.

Veža i njegovi suradnici[110], navode sljedeće metode za ocjenjivanje i odabir alternativnih lokacija logističko-distribucijskih centara:

a) metoda bodovnog ocjenjivanja
b) metoda koja razmatra prijevozne troškove
c) vrijednosna analiza
d) metoda koja razmatra investicijske troškove

5.1. Metoda bodovnog ocjenjivanja

Proučavanjem literature [2], uočeno je da se metoda bodovnog ocjenjivanja zasniva na izradi univerzalne tablice, koja sadržava sljedeće elemente: čimbenike, kriterije i alternativne lokacije. U skladu s odabranim čimbenicima određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra, navode se ključni kriteriji ili zahtjevi koje bi obuhvaćene alternativne (potencijalne) lokacije trebale zadovoljiti. Obzirom na postojeće stanje pojedine alternativne lokacije, kriterij se ocjenjuje jediničnom vrijednošću, pri čemu se za ocjenjivanje isključivo koriste tri ocjene, što je, također, uočeno razmatranjem literature [2]. To su:

a) *ocjena „2“* - alternativna lokacija u potpunosti zadovoljava kriterij
b) *ocjena „1“* - alternativna lokacija parcijalno zadovoljava kriterij
c) *ocjena „0“* - alternativna lokacija ne zadovoljava kriterij

Metoda bodovnog ocjenjivanja ne ograničava količinu navedenih kriterija, već omogućava postavljanje neograničenog broja kriterija, čime je postupak odabira lokacije

[110] Veža I.: Upravljanje zalihama i skladišno poslovanje, Sveučilište u Zagrebu Visoka škola za financijski menadžment RRiF, Zagreb, 2002., str. 22.

logističkog centra mnogo realniji. Dakle, uspješnost pronalaska pogodne lokacije logističkog centra pomoću ove metode ovisi o količini kriterija. Proučavanjem postupka rješavanja prema literaturi [2], spoznalo se da ocjena kriterija, u pravilu, predstavlja težinu (ponder) za svaku pojedinu alternativnu lokaciju. Nakon bodovnog ocjenjivanja pojedinih kriterija, odnosno određivanja težina, sumiraju se težine alternativnih lokacija, pri čemu najveća vrijednost sume predstavlja najpovoljniju lokaciju, odnosno onu koja je najbliža optimalnoj.

Iz razmatranja literature [2], spoznalo se da matematički izraz za sumiranje težina alternativnih lokacija glasi ovako:

$$T_i = \sum_{j=1}^{n} w_j$$

gdje je: T_i - ukupna vrijednost za lokaciju *i*

w_j - težinska vrijednost za kriterij *j* lokacije *i*

Također, spoznalo se da je metoda vrlo jednostavna za izvođenje te je, sukladno tome, najpogodnija za određivanje konačne lokacije u vrlo kratkom vremenskom intervalu. Veliki nedostatak metode je što ne uzima u obzir količinu potražnje koji je vrlo značajan čimbenik pri određivanju lokacije logističko-distribucijskog centra. Metoda se može koristiti u fazi provođenja predizborne lokacije kada je na temelju ograničenog broja kriterija nužno donijeti odluku o lokaciji.

5.2. Metoda koja razmatra prijevozne troškove

Cilj ove metode je reducirati relativno veliki udio troškova vanjskog prijevoza u ukupnim troškovima, koji se pojavljuju na relacijama dobavljač - proizvođač pri prijevozu sirovina i/ili poluproizvoda, odnosno proizvođač - kupac pri prijevozu gotovih proizvoda. Kvantitativan pokazatelj prijevoza robe mora biti prethodno poznat zbog prikladnog odabira prijevoznog sredstva, na temelju kojeg se izračunavaju ukupni prijevozni troškovi između ishodišta i odredišta te proizvodnim sustavom u sredini. Obzirom da se metoda bavi pronalaskom minimuma ukupnih prijevoznih troškova, potrebno je izraziti relevantne parametre u funkciji cilja, koja glasi[111]:

[111] Ibidem, str. 23.

$$\min C_{tr,i} = \sum_{j=1}^{m} m_{ij} \times s_{ij} \times c_{ij} \qquad (1)$$

gdje su:

$C_{tr,i}$ - ukupni prijevozni troškovi za pojedinu lokaciju

m_{ij} - količina aktivnih prijevoznih sredstava između dobavljača i kupca ***j*** te lokacije ***i*** u sredini

s_{ij} - prostorna udaljenost između dobavljača i kupca ***j*** te lokacije ***i*** u sredini

c_{ij} - jedinični prijevozni trošak između dobavljača i kupca ***j*** te lokacije ***i*** u sredini

Obzirom da su veličine $\boldsymbol{m_{ij}}$ i $\boldsymbol{c_{ij}}$ poznate i vrijede za svaku lokaciju ***i***, razmatranjem dosada napisanog, moguće je odrediti težinu $\boldsymbol{w_{ij}}$ koja je korespondentna lokaciji ***i***, pa izraz glasi:

$$w_{ij} = m_{ij} \times c_{ij} \qquad (2)$$

čime se dobiva sljedeći oblik:

$$\min C_{tr,i} = \sum_{j=1}^{m} w_{ij} \times c_{ij} \qquad (3)$$

Za rješavanje lokacijskog problema u cilju određivanja optimalne lokacije razvijeno je nekoliko metoda iz ove skupine, od kojih se mogu izdvojiti[112]:

a) *Launhardtova grafička metoda (1982.)* - koja se računanjem dobiva težište površine koja implicira koordinate optimalne lokacije
b) *Rockstrohova metoda (1969.)* - koja definira optimalnu lokaciju određujući koordinate vrha radijusvektora težišta, gdje su pojedini radijusvektori umnožak prijevoznog intenziteta i koordinata udaljenosti
c) metoda „sjeverozapadnog kuta“

5.3. Vrijednosna analiza

Struktura vrijednosne analize prilagođena je za ocjenjivanje optimalne lokacije uključujući relevantna mjerila lokacije. Razmatranjem literature [2], spoznalo se da vrijednosna analiza opisuje istraživanje skupa alternativnih rješenja u svrhu rangiranja alternativa prema određenom cilju. Za postizanje rangiranja potrebno je za svaku alternativu

[112] Ibidem, str. 24.

odrediti vrijednost rješenja, a vrijednost rješenja dobiva se na temelju objedinjavanja objektivnih i subjektivnih informacija o vrijednosti pojedinih kriterija. Osim toga, spoznala se prednost vrijednosne analize, a to je vrednovanje velikog broja kriterija za određivanje optimalne lokacije, koji su tehničke, tehnološke, ekonomske, pravne i socijalne prirode. Na osnovu razmatranja dosad napisanog, može se zaključiti da vrijednosna analiza pripada skupini višekriterijskih analiza lokacijskog problema.

Među metodama za ocjenjivanje alternativnih lokacija, a u svrhu određivanja najpogodnije lokacije, postoje dvije slične metode. Metoda bodovnog ocjenjivanja i vrijednosna analiza baziraju se na odabiru optimalne lokacije koja ostvari najveći zbroj bodova. U cilju razumijevanja i uočavanja bitne razlike između metoda, u nastavku se navedeni koraci provođenja vrijednosne analize[113]:

a) *postavljanje cilja, određivanje kriterija za ocjenjivanje alternativnih rješenja i određivanje vrijednosti pojedinih kriterija,*
b) *ocjenjivanje težinskih čimbenika (čimbenika pondiranja), odnosno izračunavanja vrijednosti pojedinih kriterija u odnosu na ukupnu vrijednost svih kriterija,*
c) *ocjenjivanje alternativnih rješenja s obzirom na postavljene kriterije, odnosno koliko pojedino postavljeno rješenje ispunjava određeni kriterij,*
d) *određivanje vrijednosti kakvoće rješenja za sva alternativna rješenja i*
e) *postavljanje redoslijeda za sva alternativna rješenja s obzirom na dobivene vrijednosti kakvoće rješenja.*

5.4. Metoda koja razmatra investicijske troškove

Razmatranjem literature [2], spoznalo se da metoda koja uzima u obzir investicijske troškove ne ubraja se u klasične metode koje matematičkim programiranjem rezultiraju definiranjem lokacije, kao što je slučaj kod centar gravitacijskih metoda. Njihova primjena očituje se u funkciji dodatnog čimbenika pri definiranju odluke o lokaciji. U pravilu, ova se metoda može koristi u kombinaciji s ostalim spomenutim metodama, kako bi pridonijela kvalitetnoj odluci o lokaciji izgradnje logističko-distribucijskog centra sa investicijskog stajališta. Prema ovoj metodi, najpovoljnija je ona lokacija koja distribucijskom sustavu za uloženi javno-privatni kapital osigurava najveći profit. Među takvima se ubrajaju lokacije koje se nalaze u blizini ili raspolažu sa širokim spektrom potencijalnih sredstava čijom se

[113] Ibidem, str. 24-25.

eksploatacijom ostvaruju dodatni prihodi. Metoda odabira lokacije koja uzima u obzir investicijske troškove temelji se na jednom matematičkom izrazu, koji glasi[114]:

$$R_{VK} = \frac{U_P - C_{UK}}{V_K \times n_{VK}} \times 100$$

gdje su:

R_{VK} - rentabilnost vlastitog kapitala [%]

U_P - ukupni prihod [n.j.]

C_{UK} - ukupni troškovi [n.j.]

V_K - vlastiti kapital [n.j.]

n_{VK} - stopa vlastitog kapitala

Iz gornje notacije, uočava se da na temelju prihoda, troškova proizvodnje i proizvodnog kapitala[115] moguće je odrediti stopu rentabilnosti razmatrane lokacije. Nakon provedenih proračuna za optimalnu lokaciju odabire se ona koja generira najveću stopu rentabilnosti, tj. koja ima vrlo pozitivan omjer profita i troškova. Razmatranjem literature [2], spoznalo se da ova metoda iziskuje dugotrajne, preliminarne i radikalne radnje kojima bi se ispunili uvjeti za njezino provođenje i prognoziranje budućeg ekonomskog stanja tvrtke, kao što su simulacijske metode, ekonomske projekcije i drugo. Dobivene vrijednosti ove metode, osim što su od primarnog interesa za investitora koji ulaže određeni kapital, one su itekako vrlo korisne informacije u cjelokupnoj izgradnji logističkog objekta. Također, spoznalo se da se spomenuta metoda ne bavi vrednovanjem i rangiranjem kriterija, već je vrlo fleksibilna u vidu kombiniranja s drugim metodama za određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra te, odgovarajućom primjenom, pomaže u definiranju lokacije sa investicijskog stajališta što ga čini relevantnim parametrom.

[114] Ibidem, str. 26.
[115] Ibidem, str. 26.

6. USPOREDBA METODA ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE LOGISTIČKO-DISTRIBUCIJSKOG CENTRA

Nakon analiziranih metoda za određivanje lokacije, gdje je fokus usmjeren na korake i postupak rješavanja problematike u praksi, ovo poglavlje sadržava sveobuhvatnu usporedbu obrađenih metoda. Na osnovu dosadašnjih razmatranja, može se konstatirati da se usporednom analizom većina metoda značajno razlikuje, a neke manje značajno. Prema tome, metode obuhvaćene u ovo diplomskom radu mogu se podijeliti u tri osnovne skupine:

a) gravitacijske metode
b) metode višekriterijskog odlučivanja
c) alternativne (kombinatorne) metode

Sa globalnog stajališta, svaka od analiziranih metoda zahtjeva odgovarajući pristup rješavanju lokacijskog problema zbog vlastite svrsishodnosti. Promatrajući obuhvaćene metode sa šireg aspekta, najjasnija razlika među skupinama metoda ogleda se između skupine gravitacijskih metoda i metoda višekriterijskog odlučivanja. Gravitacijske metode (centar gravitacije i medijan) uzimaju u obzir jedinični trošak prijevoza ili distribucije te ukupni obujam prijevoza (potražnje), kao parametre izvođenja računa. Rezultati računa su vrijednosti koje impliciraju zemljopisnu lokaciju u Kartezijanskom koordinatnom sustavu, pri čemu određene metodu omogućavaju provođenje iteracije računa u cilju optimiranja lokacije, tj. reduciranja ukupnih prijevoznih troškova na minimum. U današnje doba, minimum ukupnih troškova sinonim je za ekonomično upravljanje poslovnim procesima i vođenje privatnog poduzeća što omogućava određenu financijsku stabilnost među konkurencijom i usmjeravanje financijskih tokova na razvoj primarnih djelatnosti. Prema tome, gravitacijske se metode ne bave ocjenjivanjem ili kvantificiranjem familije kriterija alternativnih lokacija, već su namijenjene za izravno određivanje optimalne lokacije na konkretnoj zemljopisnoj karti bez obzira na vrstu površine (kopno ili voda) i reljefne oblike lokacije (nizina ili gorje), što je bitan nedostatak gravitacijskih metoda te zahtjeva dodatne (kombinacijske) aktivnosti ili procedure za detaljnije lociranje logističko-distribucijskog centra.

Sa suprotne strane, metode višekriterijskog odlučivanja (AHP i ELECTRE) rezultiraju odabirom lokacije na temelju rangiranja lokalnih prioriteta (kriterija i potkriterija), dokle se dolazi utvrđivanjem relativne važnosti koja se očituje usporedbom kriterija i potkriterija. Metode su namijenjene za vrednovanje kriterija alternativnih lokacija ili regija kojoj se

namjerava dodijeliti tip logističkog centra. Sa tehničkog, gospodarskog, ekološkog i organizacijskog aspekta, metode višekriterijskog odlučivanja su vrlo pouzdane, ali ne uzimaju u obzir potražnju kupaca niti cijenu prijevoza niti prostornu udaljenost između lokacije i kupaca, koji su značajni čimbenici konačne odluke o lokaciji, tj. formiranja logističko-distribucijskog sustava. Metode višekriterijskog odlučivanja ne koriste koordinatni sustav koji pomaže u definiranju optimalne lokacije, već su njihovi konačni rezultati vrijednosti prioriteta u obliku težinskih koeficijenata na osnovu kojih se važnost kriterija rangira u odnosu na cilj, kao i važnost potkriterija u odnosu na kriterij.

Ako se u usporedbu uključe i alternativne (kombinatorne) metode, tada se može jasno uočiti koliko su metoda bodovnog ocjenjivanja i vrijednosna analiza blisko povezane sa metodama višekriterijskog odlučivanja. Toliko su blisko povezane da ih ne bi bilo pogrešno prozvati pretečama metoda višekriterijskog odlučivanja, premda postoje velike razlike u koracima rješavanja lokacijskog problema. Metoda bodovnog ocjenjivanja i vrijednosna analiza su vrlo jasne, jednostavne i razumljive te su u određenoj mjeri, kada je nužno u kratkom vremenskom periodu ocijeniti koliko pojedini kriterij zadovoljava tražene uvjete, pouzdane. I ove metode, na svrsishodan način, rezultiraju odabirom optimalne lokacije od alternativnih čiji se postupak razlikuje od ostalih metoda. Kad se već promatraju metode sa šireg aspekta, može se ustanoviti da je razvijeno nekoliko principa rješavanja lokacijskih problema.

Činjenica je da su većina metoda matematičkog programiranja i višekriterijskog odlučivanja transformirane u programske (softverske) alate, radi jednostavnije uporabe i dobivanja preciznijih rješenja, ali ovaj rad ne raspolaže metodama podržanim softverskim alatima. Stoga je nemoguće odrediti najbolju metodu po vremenskom kriteriju. Međutim, kada je u pitanju odabir najkraće metode za određivanje lokacije po vremenskom kriteriju, to je metoda medijan, koje daje paušalno rješenje. S obzirom na poznatu poslovnu uzrečicu „vrijeme je novac“, u ovom slučaju poduzetničke strane ne pokazuju sklonost niti se interesiraju za srodne metode, već za one metode koje daju realnija i egzaktnija rješenja te koje su prilagođene njihovim zahtjevima i poslovnom konceptu. Isto tako, usporedba metoda prema egzaktnosti rješenja može se provoditi, ako će rezultati pozitivno utjecati na promjenu subjektivnog mišljenja donositelja odluke.

6.1. Usporedba gravitacijskih metoda

Ovo poglavlje donosi usporedbu dviju gravitacijskih metoda - centar gravitacije i medijan. Obje metode su razvijene u 20. stoljeću te su se relativno često primjenjivale pri rješavanju lokacijskog problema skladišnog objekta. Također se može istaknuti da je metoda centra gravitacije starija od medijana. Zajednička su im obilježja matematičko programiranje, utvrđivanje minimuma ukupnih prijevoznih troškova i uporaba Kartezijanskog koordinatnog sustava, kao osnovnog alata za određivanje optimalne lokacije, ali koraci rješavanja problematike i princip određivanja koordinata optimalne lokacije $O(\bar{X}, \bar{Y})$ nisu identični. Analogno tome, nisu ni vrijednosti koordinata identične.

U nastavku slijedi usporedba metode centra gravitacije i metode medijan na primjeru određivanja optimalne lokacije logističko-distribucijskog centra. Ovaj primjer lokacijskog problema pokazat će koja je od spomenutih gravitacijska metoda preciznija, egzaktnija i, još važnije, isplativija sa aspekta ukupnih prijevoznih troškova. Prvo će se pristupiti određivanju lokacije logističkog centra metodom centroida, a zatim metodom medijan. U prometu je značajno 14 maloprodajnih objekata koji naručuju različite količine roba i različito su udaljeni od izvora. Svi podaci su zadani u donjoj Tablici 5.

Tablica 5. Ulazne vrijednosti

Kupac	"X"	"Y"	Potražnja	Jedinični transportni trošak
Osijek	212	126	80	0,12
Varaždin	126	174	45	0,12
Zadar	81	26	35	0,12
Poreč	20	98	25	0,12
Vinkovci	216	107	25	0,12
Sl. Brod	187	96	20	0,12
N. Gradiška	163	104	20	0,12
Bjelovar	143	150	20	0,12
Zagreb1	112	139	150	0,12
Zagreb2	109	140	140	0,12
Karlovac	92	116	20	0,12
Rijeka	51	107	80	0,12
Pula	29	75	25	0,12

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Neposredno prije početka rješavanja primjera metodom centra gravitacije postavlja se funkcija cilja radi dobivanja željenog rezultata:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i \cdot R_i \cdot K \cdot \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2} \quad [n.j.]$$

gdje su:

TC - ukupni prijevozni troškovi od logističkog centra do točke *i*

N - broj uključenih maloprodajnih objekata

R_i - jedinični trošak prijevoza robe od centra do točke *i*

V_i - volumen robne potražnje maloprodajnog objekta do točke *i*

K - jedinična vrijednost koordinatnog sustava, koji u ovom primjeru iznosi 1,15

(X_i, Y_i) - koordinate maloprodajnih objekata

$(\bar{X}, \bar{Y})$ - koordinate optimalne lokacije

Sljedeći korak nakon postavljanja funkcije cilja je izračunavanje težinskog prosjeka koordinatnog sustava. Za dobivanje konačnog rezultata, poslužit će Tablica 1. koja se nalazi u Prilozima.

Uvrštavanjem odgovarajućih vrijednosti u definiranu matematičku formulu (7) i (8), zanemarujući parametar d_i, dobivaju su sljedeći rezultati:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i \times w_i}{\sum w_i} = \frac{9591{,}6}{82{,}2} = 116{,}68 \qquad \bar{Y} = \frac{\sum y_i \times w_i}{\sum w_i} = \frac{10098}{82{,}2} = 122{,}85$$

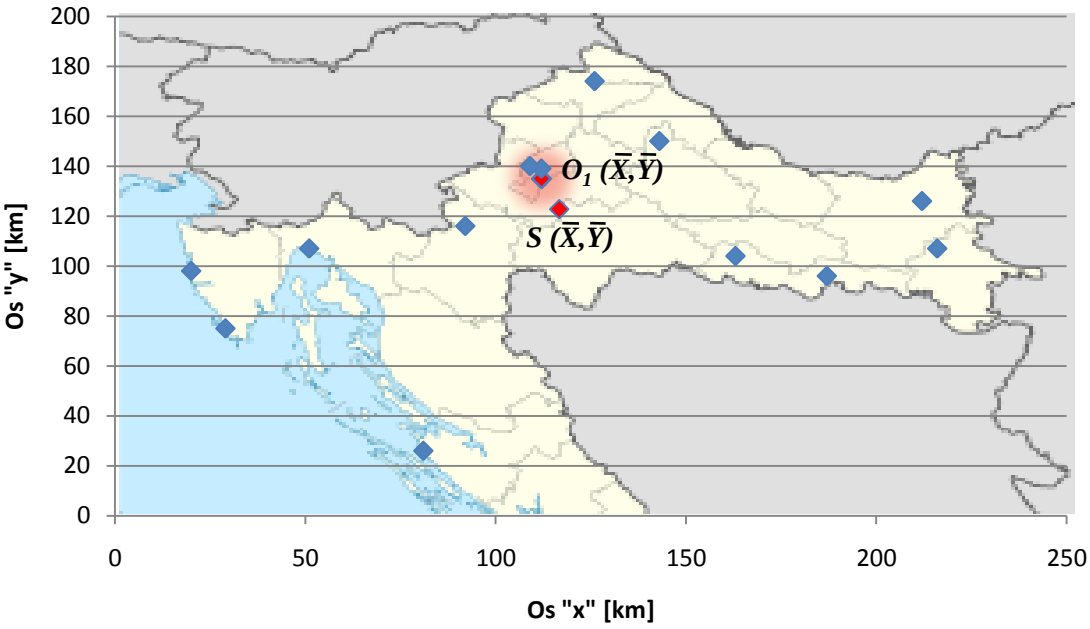
Na osnovu poznatih koordinata generirane lokacije moguće je izračunati prostornu udaljenost između objekata i lokacije $S(\bar{X}, \bar{Y})$. Rezultante su prikazane u Tablici 2. koja se nalazi u Prilozima.

Uz pomoć gornje tablice i pravilnim uvrštavanjem vrijednosti, moguće je dobiti rezultat funkcije cilja:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i \cdot R_i \cdot K \cdot \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2} = 4888{,}327 \quad [n.j.]$$

Lokacijske vrijednosti iz tablice o pojedinom kupcu i dobiveni rezultati generirane lokacije $S(\bar{X}, \bar{Y})$ po osi *(x,y)*, prikazani su na Grafikonu 2. Plave točke na karti Republike Hrvatske

označavaju lokacije maloprodajnih objekata, a crvene točke označavaju generirane lokacije sukladne rješenju.



Grafikon 2. Položaj pojedinih kupaca u prostoru

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Međutim, generirana lokacija može se poboljšati, tj. optimizirati definiranom matematičkom formulom (7) i (8). Tablica 3., koja se nalazi u Prilozima, prikazuje potrebne vrijednosti za određivanje koordinata optimalne lokacije $O_1(\bar{X},\bar{Y})$.

Primjenom formule (7) i (8) dobivaju se sljedeći rezultati:

$$\bar{X} = \frac{\sum \frac{x_i \times w_i}{d_i}}{\sum \frac{w_i}{d_i}} = \frac{262{,}3049}{2{,}3289} = 112{,}63 \qquad \bar{Y} = \frac{\sum \frac{y_i \times w_i}{d_i}}{\sum \frac{w_i}{d_i}} = \frac{311{,}0716}{2{,}3289} = 133{,}57$$

Na osnovu poznatih koordinata optimizirane lokacije moguće je izračunati prostornu udaljenost između objekata i lokacije $O_1(112{,}63;133{,}57)$. Rezultante su prikazane u Tablici 4., koja se nalazi u Prilozima.

Uz pomoć gornje tablice i pravilnim uvrštavanjem vrijednosti, moguće je dobiti poboljšan rezultat funkcije cilja:

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} V_i \cdot R_i \cdot K \cdot \sqrt{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{Y} - Y_i)^2} = 4527{,}011 \quad [n.j.]$$

Iz priloženih formula, uočava se razlika u krajnjim rezultatima prve i druge lokacije. Razlika je nastala zbog optimizacije lokacije metodom *„tona-kilometar"*. Iz Grafikona 2., jasno se primjećuje da je korigirana lokacija *O_1(112,63;133,57)* nakon prve iteracije, u odnosu *S(116,68;122,85)*, smještena bliže Zagrebačkom tržištu, zbog veće potražnje za robom, a time i snažnije gravitacije. Ali prva iteracija ne daje konačno rješenje lokacijskog problema, već se svakom sljedećom iteracijom generiraju nove koordinate optimalne lokacije, odnosno reduciraju ukupni troškovi prijevoza, pa su se, na osnovu toga, u desetoj iteraciji dobile koordinate *O_{10}(111,93;138,96)* u kojoj ukupni prijevozni troškovi iznose 4404,06 novčanih jedinica. U pravilu, konačno se rješenje uzima u uvjetima kada se vrijednost ukupnih prijevoznih troškova ustali, odnosno neznatno mijenja.

Nakon dobivenih rješenja metodom centra gravitacije pristupa se rješavanju primjera metodom medijan. Umjesto parametra opsega potražnje, koji se koristio u metodi centra gravitacije, u metodi medijan koristi se parametar prosjeka realiziranih prijevoznih usluga u mjesecu. Metoda medijan se izvodi uz pretpostavku da prijevozna putovanja počinju i završavaju na istoj lokaciji. Relevantni podaci prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Ulazne vrijednosti

Kupac	X_i	Y_i	Prosjek realiziranih prijevoznih usluga u mjesecu	Jedinični transportni trošak
Osijek	212	126	80	0,12
Varaždin	126	174	45	0,12
Zadar	81	26	35	0,12
Poreč	20	98	25	0,12
Vinkovci	216	107	25	0,12
Sl. Brod	187	96	20	0,12
N. Gradiška	163	104	20	0,12
Bjelovar	143	150	20	0,12
Zagreb1	112	139	150	0,12
Zagreb2	109	140	140	0,12
Karlovac	92	116	20	0,12
Rijeka	51	107	80	0,12
Pula	29	75	25	0,12

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Prvi korak u postupku rješavanju lokacijskog problema je redanje koordinata maloprodajnih objekata X_i prema uzlaznom redoslijedu, kao što je prikazano u Tablici 5. s vrijednostima, koja se nalazi u Prilozima.

Pronalaženje ***j***-te koordinate kojoj su kumulativne težine jednake ili prekoračuju polovinu ukupne težine, izvodi se prema formuli (4):

$$\sum_{i=1}^{j} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} = \sum_{i=1}^{j} w_i \geq \frac{82{,}2}{2} = 41{,}1$$

Sukladno rješenju, kumulativne težine su veće od polovine ukupnih težina (57 > 41,1). U ovom slučaju, ***j***-ta koordinata nalazi se na brojci $\bar{X}$=112, što predstavlja optimalnu lokaciju po osi *x*.

Sljedeći korak je redanje koordinata objekata Y_i po uzlaznom redoslijedu, kao što je prikazano u Tablici 6., koja se nalazi u Prilozima.
Pronalaženje ***k***-te koordinate kojoj su kumulativne težine jednake ili prekoračuju polovinu ukupne težine, izvodi se prema formuli (5):

$$\sum_{i=1}^{k} w_i \geq \sum_{i=1}^{N} \frac{w_i}{2} = \sum_{i=1}^{k} w_i \geq \frac{82{,}2}{2} = 41{,}1$$

Sukladno rješenju, kumulativne težine su veće od polovine ukupnih težina (57,6 > 41,1). U ovom slučaju, ***k***-ta koordinata nalazi se na brojci $\bar{Y}$=139, što predstavlja optimalnu lokaciju po osi *y*. Nakon izvršenih koraka pri rješavanju lokacijskog problema ovom metodom, maloprodajni trgovac bi trebao istražiti mogućnosti izgradnje logističkog centra na lokaciji S_M*(112;139),* koja je u stvari lokacija maloprodajnog objekta *Zagreb1*.

Obzirom da su poznate koordinate optimalne lokacije, na kojoj se planira izgraditi logističko-distribucijski centar, moguće je prikazati potrebne rezultate u Tablici 7., koja se nalazi u Prilozima, u cilju izračunavanja ukupnih troškova distribucije, tj. funkciju cilja prema (3):

$$\min TC = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot |X_i - \bar{X}| + \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot |Y_i - \bar{Y}| = 4195{,}8 \quad [n.j.]$$

Prema ovom primjeru metoda medijan u odnosu na centar gravitacije donosi pouzdano i egzaktno rješenje. Metodom centra gravitacije minimalni ukupni prijevozni troškovi iznose 4404,06 novčanih jedinica, dok rješenje dobiveno metodom medijan iznose 4195,8 novčanih jedinica, što je ušteda od 208,26 novčanih jedinica. Ako, iz određenih razloga, nije moguće provesti praktično rješenje vlasnik maloprodajnog objekta može odustati ili primijeniti drugu lokacijsku metodu ili potražiti alternativno rješenje koje se neznatno razlikuje od dobivenog.

Jednu od ključnih razlika moguće je primijetiti u postavljenim matematičkim formulama, gdje se kod prve metode prosječna vrijednost svih koordinata računa kao umnožak vrijednosti koordinate objekta i pripadnog težinskog koeficijenta (pondera) podijeljen sa sumom težinskih koeficijenata, a kod druge metode se prosječna vrijednost koordinate uzima kao ona vrijednost koordinate objekta u kojoj je pripadni težinski koeficijent jednak ili premašuje polovinu kumulativa težinskih koeficijenata, pri čemu posebnu pažnju treba obratiti na silazni poredak vrijednosti koordinata objekata, kao što prikazuju matematički izrazi (4 i 5) iz poglavlja 4.2. Klasična metoda centra gravitacije ili metoda centroida, odnosno 4.3. Metoda medijan.

Sljedeća razlika očituje se u strukturi matematičkog izraza za izračunavanje minimuma ukupnih prijevoznih troškova, gdje ono kod prve metode predstavlja sumu umnožaka pojedinih težinskih koeficijenata w_i i prostorne razlike d_i (koji se dobiva pomoću Euklidove metrike ili Pitagorinog poučka) između lokacije $S(\bar{X}, \bar{Y})$ i objekata i, a kod druge metode kao suma pojedinih umnožaka težinskih koeficijenata i modula razlike između koordinata lokacije $S(\bar{X}, \bar{Y})$ i objekata (X_i, Y_i), kako za „x“, tako i za „y“, kao što prikazuju matematički izrazi (1) iz poglavlja 4.2. Klasična metoda centra gravitacije ili metoda centroida, odnosno 4.3. Metoda medijan. U drugoj metodi se ne koristi parametar prostorne razlike d_i, ali zato isti parametar u prvoj metodi omogućava poboljšanje lokacije (vidi matematički izraz (7 i 8) iz poglavlja 4.2. Klasična metoda centra gravitacije ili metoda centroida), što rezultira ostvarivanjem minimuma ukupnih prijevoznih troškova. U međuvremenu, druga metoda je završila postupak određivanja optimalne lokacije. Međutim, prva metoda odlikuje svojstvom iteracije izraza kojom se postiže optimizacija lokacije sa aspekta ukupnih prijevoznih troškova. Sve dok se vrijednosti rezultata znatno mijenjaju, nužno je provoditi iteraciju izraza.

6.2. Usporedba metoda višekriterijskog odlučivanja

Usporedba AHP-e i ELECTRE metode zahtjeva radikalnu analizu, kao i utvrđivanje međusobnih razlika u postupku rješavanja višekriterijskog lokacijskog problema, ali će se istaknuti najvažnije razlike i zajednička obilježja. Prvenstveno, metode višekriterijskog odlučivanja su namijenjene za rangiranje alternativa prema snazi lokalnih težinskih koeficijenata (pondera) u odnosu na pripadajući skup ili višu razinu utvrđenu hijerarhijskom strukturom. Kao što je navedeno u usporedbi gravitacijskih metoda, tako je i ovdje glavna razlika u postupku koji rezultira donošenjem konačnog poretka alternativa po važnosti, od najjače do najslabije. U svakoj metodi može sudjelovati neodređeni broj donositelja odluka iz različitih gospodarskih djelatnosti, ali moraju biti vrlo precizni u donošenju relativnih važnosti relacije.

AHP-e i ELECTRE metodu karakteriziraju dekompozicija strukture problema na elemente - kriterije koji se u AHP-u međusobno uspoređuju u parovima pomoću unificirane Saatyeve skale relativnih važnosti, odnosno u ELECTRE metodi prema skali rednih brojeva ili malih intervala. Usporedba kriterija u parovima izvodi se radi određivanja lokalnih težina (prioriteta) elemenata na istoj razini pomoću odgovarajućeg modela. Nakon ovoga koraka, metode nemaju više identičan slijed rješavanja problematike rangiranja alternativa, u ovom slučaju određivanja najpogodnije lokacije logističko-distribucijskog centra.

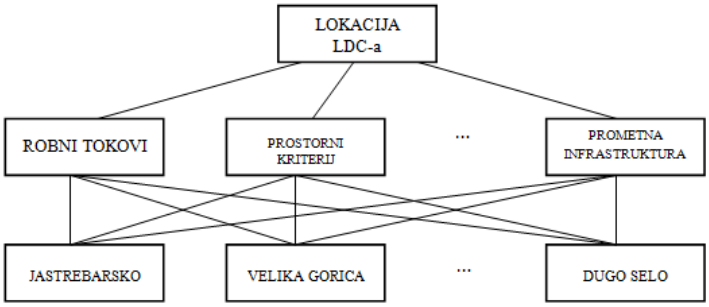
U AHP-e metodi, elementi matrice a_{ij} i a_{ji} rezultat su uspoređivanja kriterija u parovima u odnosu na cilj, odnosno potkriterija u parovima u odnosu na kriterij. Zatim, u istoj matrici se sumiraju sve kolone, uključujući indiferentne i recipročne vrijednosti, te se svaki element (vrijednost) dijeli sa sumom pripadajuće kolone, radi dobivanja jedinstvenih težinskih koeficijenata (prioriteta). Razlog zbog kojeg se obuhvaćaju i recipročne vrijednosti u račun leži u održivosti ne konzistencije procjenjivanja. Zbog subjektivne vrijednosti procjena, donositelj odluke može izazvati ne konzistencije, odnosno ne skladnost u preferencijama (ako alternativa *1* preferira nad alternativom *2*, alternativa *2* preferira nad alternativom 3, tada ne može alternativa *3* preferirati nad alternativom *1*, ukoliko se promatraju tri alternative). U cilju njihove redukcije, potrebno je izračunati prosjek težina u svakom redu, koji se naziva vektor težina. Nadalje, u parovima se uspoređuju alternative (opcije ili varijante), koje su smještene na najnižoj razini hijerarhije, sa kriterijima. Ovaj korak omogućava spoznaju koliko pojedina alternativna lokacija zadovoljava pojedini kriterij. Postupak određivanja vektora težina provodi se na identičan način kao i u prethodnoj fazi. Na kraju, uzimajući u obzir

vektore težina pojedinih kriterija i alternativa mogu odrediti ukupne težine alternativnih lokacija za svaki kriterij, pri čemu najveća suma težina svake lokacije determinira onu optimalnu.

Za svaku usporedbu kriterija i potkriterija u parovima izvodi se indeks konzistentnosti koji ne smije biti veći od 0.1. U suprotnome, rezultati rješenja smatrat će se nepouzdanima. Nakon determinirane optimalne lokacije logističko-distribucijskog centra, moguća je provedba analize osjetljivosti koja daje prikaz mijenjanja težina potkriterija promjenom težina kriterija, što omogućava uvid u udio težina pojedinih potkriterija u ukupnoj težini kriterija. Prema tome, ako se promjeni težina (ponder ili prioritet) jednog kriterija sve ostale težine se proporcionalno mijenjaju u odnosu na početno stanje.

U odnosu na AHP-e metodu, ELECTRE metoda je kompleksnija za rješavanje problematike lokacije. Ona ne sadrži račun konzistentnosti težina niti analizu osjetljivosti niti unificiranu mjernu skalu pomoću koje se izvodi usporedba relativnih važnosti, već se svaki kriterij ne mora ocjenjivati po identičnoj mjernoj skali, zbog čega je nužna kalkulacija normalizirane matrice odlučivanja, odnosno kalkulacija normalizirane težinske matrice odlučivanja. Gotovo, cjelokupni postupak rješavanja lokacijskog problema ELECTRE metodom svodi se na kalkulaciju matrice konkordancije i diskordancije. Uvjet suglasnosti (konkordancije) postignut je onda kada dovoljno glavnih kriterija favorizira tvrdnju *aSb*, dok je uvjet diskordancije (nesuglasnosti) postignut onda kada nijedna od manjinskih kriterija ne kontrira jako tvrdnji *aSb*. Pojednostavljenjem matrica konkordancije i diskordancije dobiva se agregirana matrica dominacija, koja omogućava rangiranje alternativa i eliminiranje najslabijih.

U nastavku slijedi usporedba AHP-e i ELECTRE metode na primjeru određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra. Da bi usporedba metoda bila vjernija, u obje metode koristit će se isti kriteriji i alternativne lokacije. Od mogućih kriterija, odabrani su robni tokovi, prostorni kriterij i prometna infrastruktura, a od mogućih lokacija, odabrani su Jastrebarsko, Velika Gorica i Dugo Selo.



Slika 13. Model određivanja lokacije LDC-a u AHP-u

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Na početku određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra pomoću AHP-e metode potrebno je postaviti osnovni model problematike, kao što je prikazano na Slici 13. Kada je definiran model problematike može se izraditi matrica usporedbe kriterija u parovima [A], koja je dana u Tablici 7. U tablici se jasno vidi kako robni tokovi imaju slabu dominaciju u odnosu na prostorni kriterij, dok u odnosu na prometnu infrastrukturu imaju jaku dominaciju. Prostorni kriterij ima neznatnu dominaciju u odnosu na prometnu infrastrukturu. Gledano s druge strane, ista tablica prikazuje vrijednosti relativnih važnosti (prioritete) među kriterijima. Tablica 8., prikazuje težinske koeficijente relativne važnosti koji se određuju na osnovu procjene omjera prioriteta i sume prioriteta matrice [A] po stupcu ($a_{ij} = w_i / w_j$). Procjenjivanje omjera uvodna je faza u normaliziranje matrice [A'] koja se sastoji od a_{ij} elemenata. Svrha normaliziranja matrice je određivanje vektora težina {W} za svaki ***n*** kriterij koji se dobiva uzimanjem prosječne vrijednosti težinskih koeficijenata relativnih važnosti. Maksimalna vrijednost vektora težine {W} za svaki ***n*** kriterij predstavlja najvažniji kriterij. Iz tablice 8., vidljivo je da su robni tokovi najvažniji kriterij.

Tablica 7. Usporedba kriterija za određivanje lokacije LDC-a

	Robni tokovi	**Prostorni kriterij**	**Prometna infrastruktura**
Robni tokovi	1	3	5
Prostorni kriterij	0.3333	1	2
Prometna infrastruktura	0.2	0.5	1
Σ	1.533	4.5	8

Izvor: Izradio i prilagodio autor

ili $A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$

$\sum_{RT} = a_{11} + a_{21} + a_{31} = 1{,}533$ $\sum_{PK} = a_{12} + a_{22} + a_{32} = 4{,}5$ $\sum_{PI} = a_{13} + a_{23} + a_{33} = 8$

Tablica 8. Normalizirana matrica *A'*

	Robni tokovi	Prostorni kriterij	Prometna infrastruktura	Σ	Vektor težina (W)
Robni tokovi	0,6523	0,6667	0,625	1,944	0,648
Prostorni kriterij	0,2173	0,2222	0,25	0,6895	0,2298
Prometna infrastruktura	0,1304	0,1111	0,125	0,3665	0,1222
Σ	1,0000	1,0000	1,0000		1,0000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

$$a'_{11} = \frac{1}{1{,}533} = 0{,}6523 \quad a'_{12} = \frac{3}{4{,}5} = 0{,}667 \quad a'_{13} = \frac{5}{8} = 0{,}625$$

$$a'_{21} = \frac{0{,}333}{1{,}533} = 0{,}2173 \quad a'_{22} = \frac{1}{4{,}5} = 0{,}222 \quad a'_{23} = \frac{2}{8} = 0{,}25$$

$$a'_{31} = \frac{0{,}2}{1{,}533} = 0{,}1304 \quad a'_{32} = \frac{0{,}5}{4{,}5} = 0{,}111 \quad a'_{33} = \frac{1}{8} = 0{,}125$$

Kako bi se odredile vrijednosti vektora težina, potrebno je normalizirati sume stupaca na način da se zbroj svakog stupca podijeli sa brojem redova. Rezultat ovih izračuna, ujedno su i vektori svojstvenih vrijednosti matrice.

$$\frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1{,}944 \\ 0{,}6895 \\ 0{,}3665 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}648 \\ 0{,}2298 \\ 0{,}1222 \end{bmatrix} = W$$

$$W_{RT} = \frac{1}{3} \times 1{,}944 = 0{,}648 \quad W_{PK} = \frac{1}{3} \times 0{,}6895 = 0{,}2298 \quad W_{PI} = \frac{1}{3} \times 0{,}3665 = 0{,}1222$$

$$A' = \begin{bmatrix} 0{,}6523 & 0{,}6667 & 0{,}625 \\ 0{,}2173 & 0{,}2222 & 0{,}25 \\ 0{,}1304 & 0{,}1111 & 0{,}125 \end{bmatrix}$$

Sljedeći korak je ispitivanje konzistentnosti dobivenih rezultata. Da bi se izračunao λ_{max} prema odgovarajućem matematičkom izrazu potrebno je matricu usporedbe kriterija pomnožiti s matricom vektora težina.

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0{,}648 \\ 0{,}2298 \\ 0{,}1222 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1{,}9484 \\ 0{,}69 \\ 0{,}3667 \end{bmatrix}$$

Zatim, svaki dobiveni vektor se podijeli sa svakim elementom vektora težina:

$$\begin{bmatrix} \frac{1,9484}{0,648} \\ \frac{0,69}{0,2298} \\ \frac{0,3667}{0,1222} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,007 \\ 3,003 \\ 3,0008 \end{bmatrix}$$

Nakon dobivenih rezultata, moguće je odrediti maksimalnu svojstvenu vrijednost matrice usporedbe λ_{max} . Ova veličina se izračunava prema odgovarajućoj relaciji:

$$\lambda_{max} = \frac{3,007 + 3,003 + 3,0008}{3} = 3,004$$

Kada je maksimalna svojstvena vrijednost matrice usporedbe poznata, moguće je pristupiti izračunavanju indeksa konzistentnosti prema sljedećoj relaciji:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,004 - 3}{3 - 1} = 0,002$$

Za izračunavanje stupnja konzistentnosti ***CR*** potrebno je odrediti slučajni indeks ***RI***, koji se može izvaditi iz Tablice 9. Slučajni indeksi zavisi od reda matrice. U ovom primjeru, radi se o matrici 3x3, pa se vrijednost slučajnog indeksa odabire iz odgovarajućeg stupca tablice.

Tablica 9. Slučajni indeksi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Izvor: http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf

Na kraju, moguće je izračunati stupanj konzistentnosti ***CI***:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0,000345$$

Obzirom da je vrijednost stupnja konzistentnosti manja od 0,1, može se zaključiti da su relacije među kriterijima konzistentne.

Nakon što je matrica usporedbe kriterija u parovima normalizirana i određen joj stupanj konzistentnosti pristupa se usporedbi alternativa, odnosno lokacija za svaki pojedini kriterij. Postupak je identičan kao i kod usporedbe kriterija u parovima, gdje se dobiveni rezultati normaliziraju te se za svaku pojedinu lokaciju prikazuje težinski koeficijent sa

aspekta pojedinog kriterija. Tablica 10. prikazuje usporedbu alternativa (lokacija) sa aspekta robnih tokova, gdje Jastrebarsko ima jaku dominaciju u odnosu na Veliku Goricu, dok Dugo Selo ima neznatnu dominaciju u odnosu Jastrebarsko. Stupanj konzistencije u ovoj usporedbi iznosi 0,0049, što znači da su relacije konzistentne.

$$A_{RT} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1/2 \\ 1/5 & 1 & 1/6 \\ 2 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 10. Usporedba lokacija sa aspekta robnih tokova

	Jastrebarsko	V. Gorica	Dugo Selo	Težina (W)
Jastrebarsko	1	5	0,5	0,3431
V. Gorica	0,2	1	0,1667	0,0819
Dugo Selo	2	6	1	0,575
Σ	3,2	12	1,6667	1,0000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

U Tablici 11. sa aspekta prostornog kriterija, Velika Gorica ima gotovo pa strogu dominaciju u odnosu na Jastrebarsko, dok u odnosu na Dugo Selo ima neznatnu dominaciju. Razlog tome leži u bližoj poziciji zagrebačkom tržištu i zračnoj luci, što omogućava niže prijevozne troškove. Stupanj konzistencije u ovoj usporedbi iznosi 0,00412, što znači da su relacije konzistentne.

$$A_{PK} = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/4 \\ 5 & 1 & 2 \\ 4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 11. Usporedba lokacija sa aspekta prostornog kriterija

	Jastrebarsko	V. Gorica	Dugo Selo	Težina (W)
Jastrebarsko	1	0,2	0,25	0,0982
V. Gorica	5	1	2	0,5679
Dugo Selo	4	0,5	1	0,3339
Σ	10	1,7	3,25	1,0000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

U Tablici 12. sa aspekta prometne infrastrukture, Velika Gorica ima slabu dominaciju u odnosu na Jastrebarsko, dok Dugo Selo ima neznatnu dominaciju u odnosu na Veliku Goricu, zbog neposredne željezničke i cestovne veze, kao i srednje razvijenosti prometne mreže. Stupanj konzistencije u ovoj usporedbi iznosi 0,00313, što znači da su relacije konzistentne.

$$A_{PI} = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1 & 1/2 \\ 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 12. Usporedba lokacija sa aspekta prometne infrastrukture

	Jastrebarsko	V. Gorica	Dugo Selo	Težina (W)
Jastrebarsko	1	0,3333	0,25	0,1226
V. Gorica	3	1	0,5	0,3202
Dugo Selo	4	2	1	0,5571
Σ	8	3,3333	1,75	1,0000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Nakon usporedbe alternativa (mogućih lokacija) logističko-distribucijskog centra sa aspekta pojedinih kriterija pristupa se izradi agregirane matrice [C_A] koja objedinjuje dobivene težinske koeficijente. Agregirana matrica [C_A] množi se sa matricom težina [W] kako bi se dobila konačna matrica težina [W_F] koja donosi finalne težinske koeficijente alternativa, među kojima se izabire najbolja opcija, kao što to prikazuje Tablica 13. Iz tablice vidljivo je da lokacija u Dugom Selu sa 52,1% apsolutno dominira za lociranje logističko-distribucijskog centra u odnosu na ostale lokacije.

$$W_{F_J} = (0{,}3431 \times 0{,}648) + (0{,}0982 \times 0{,}2298) + (0{,}1226 \times 0{,}122) = 0{,}2579$$

$$W_{F_{VG}} = (0{,}0819 \times 0{,}648) + (0{,}05679 \times 0{,}2298) + (0{,}3202 \times 0{,}122) = 0{,}2221$$

$$W_{F_{DG}} = (0{,}575 \times 0{,}648) + (0{,}339 \times 0{,}2298) + (0{,}5771 \times 0{,}122) = 0{,}521$$

$$\begin{bmatrix} 0{,}3431 & 0{,}0982 & 0{,}1226 \\ 0{,}0819 & 0{,}5679 & 0{,}3202 \\ 0{,}575 & 0{,}339 & 0{,}5771 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0{,}648 \\ 0{,}2298 \\ 0{,}1222 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}2579 \\ 0{,}2221 \\ 0{,}521 \end{bmatrix}$$

Tablica 13. Agregirana matrica rangiranja

	Robni tokovi	Prostorni kriterij	Prometna infrastruktura	Krajnja težina (W_F)	Rangiranje lokacija	
Jastrebarsko	0,3431	0,0982	0,1226	0,2579	25,79%	2.
V. Gorica	0,0819	0,5679	0,3202	0,2221	22,21%	3.
Dugo Selo	0,575	0,339	0,5771	0,521	52,1%	1.
	0,648	0,2298	0,1222			

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Nakon što je poznata optimalna lokacija logističko-distribucijskog centra pomoću AHP-e metode, može se pristupiti određivanju lokacije logističkog centra pomoću metode ELECTRE, koja je složenija od prethodne metode. U toj metodi, donositelj odluke procjenjuje važnost kriterija odabirom cijelih brojeva u intervalu od 1, kao najlošije, do 10, kao najbolje te postavlja težine na temelju realnog stanja u okruženju. U cilju vjernije usporedbe, u ELECTRE metodi koristit će se isti kriteriji i alternativne lokacije. Na početku metode,

potrebno je definirati matricu usporedbe kriterija i alternativa [X], kao i težine za pojedini kriterij. Matrica je prikaza u Tablici 14.

Tablica 14. Usporedba kriterija i alternativa

	Robni tokovi	Prostorni kriterij	Prometna infrastruktura
Jastrebarsko	8	6	6
V. Gorica	6	8	7
Dugo Selo	7	7	7

Izvor: Izradio i prilagodio autor

ili $X = \begin{bmatrix} 8 & 6 & 6 \\ 6 & 8 & 7 \\ 7 & 7 & 7 \end{bmatrix}$

Zatim, donositelj odluke određuje težine (W) za pojedine kriterije, gdje je za robne tokove odabrana vrijednost 9, za prostorni kriterij 6.5 i za prometnu infrastrukturu 6. Glavni izraz za određivanje glasi ovako:

$$W = \{W_1; W_2; W_3\} = \{9; 6.5; 6\}$$

Nakon što su ispunjeni uvjeti za početak određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra, pristupa se prvoj fazi postupka rješavanja, a to je kalkulacija normalizirane matrice odlučivanja [R], koja se dobiva prema odgovarajućoj formuli:

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

$$r_{11} = \frac{x_{11}}{\sqrt{x_{11}^2 + x_{21}^2 + x_{31}^2}} = 0{,}6554 \quad r_{21} = \frac{x_{21}}{\sqrt{x_{11}^2 + x_{21}^2 + x_{31}^2}} = 0{,}4915 \quad r_{31} = \frac{x_{31}}{\sqrt{x_{11}^2 + x_{21}^2 + x_{31}^2}} = 0{,}5735$$

$$r_{12} = \frac{x_{12}}{\sqrt{x_{12}^2 + x_{22}^2 + x_{32}^2}} = 0{,}4915 \quad r_{22} = \frac{x_{22}}{\sqrt{x_{12}^2 + x_{22}^2 + x_{32}^2}} = 0{,}6554 \quad r_{32} = \frac{x_{32}}{\sqrt{x_{12}^2 + x_{22}^2 + x_{32}^2}} = 0{,}5735$$

$$r_{13} = \frac{x_{13}}{\sqrt{x_{13}^2 + x_{23}^2 + x_{33}^2}} = 0{,}5183 \quad r_{23} = \frac{x_{23}}{\sqrt{x_{13}^2 + x_{23}^2 + x_{33}^2}} = 0{,}6047 \quad r_{33} = \frac{x_{33}}{\sqrt{x_{13}^2 + x_{23}^2 + x_{33}^2}} = 0{,}6047$$

Rješavanjem ostalih elemenata matrice [R] dobiva se konačna matrica, koja izgleda ovako:

$$R = \begin{bmatrix} 0{,}6554 & 0{,}4915 & 0{,}5183 \\ 0{,}4915 & 0{,}6554 & 0{,}6047 \\ 0{,}5735 & 0{,}5735 & 0{,}6047 \end{bmatrix}$$

Sljedeći postupak je množenje normalizirane matrice odlučivanja s matricom težina prema formuli $V=R \cdot W$:

$$V_{11} = r_{11} \times w_{11} + r_{21} \times w_{21} + r_{31} \times w_{31} = 5{,}8986$$

$$\begin{bmatrix} 0{,}6554 & 0{,}4915 & 0{,}5183 \\ 0{,}4915 & 0{,}6554 & 0{,}6047 \\ 0{,}5735 & 0{,}5735 & 0{,}6047 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 9 & 0 & 0 \\ 0 & 6{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5{,}8986 & 2{,}1948 & 3{,}1098 \\ 4{,}4235 & 4{,}2601 & 3{,}6282 \\ 5{,}1615 & 3{,}7278 & 3{,}6282 \end{bmatrix}$$

Zatim, slijedi utvrđivanje skupa podudarnosti (konkordancije) i razilaženja (diskordancije) prema odgovarajućem izrazu:

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\}\, za\ j = 1,2,3, \dots, n \qquad D_{kl} = \{j, y_{kj} < y_{lj}\}\, za\ j = 1,2,3, \dots, n$$

Dakle, za $C_{12} = \{1, y_{11} \geq y_{21}\}$ postavlja se pitanje da li je vrijednost elementa y_{11} veća ili jednaka vrijednosti elementa y_{21}. Ako je vrijednost veća ili jednaka jedinica ("1") se uzima u obzir i ne briše se. Ako je vrijednost manja znamenka se briše i ne utječe na pogoršanje krajnjeg rezultata. U ovom slučaju, znamenke koje zadovoljavaju uvjet podebljavaju se.

$$C_{12} = \{\mathbf{1}, 2,3\} \qquad D_{12} = \{1, \mathbf{2}, \mathbf{3}\}$$
$$C_{13} = \{\mathbf{1}, 2,3\} \qquad D_{13} = \{1, \mathbf{2}, \mathbf{3}\}$$
$$C_{21} = \{1, \mathbf{2}, \mathbf{3}\} \qquad D_{21} = \{\mathbf{1}, 2,3\}$$
$$C_{23} = \{1, \mathbf{2}, \mathbf{3}\} \qquad D_{23} = \{\mathbf{1}, 2,3\}$$
$$C_{31} = \{1, \mathbf{2}, \mathbf{3}\} \qquad D_{31} = \{\mathbf{1}, 2,3\}$$
$$C_{32} = \{\mathbf{1}, 2, \mathbf{3}\} \qquad D_{32} = \{1, \mathbf{2}, 3\}$$

Sljedeća faza je kalkulacija matrice podudarnosti [C] koja se izvodi prema sljedećem matematičkom izrazu:

$$c_{kl} = \sum\nolimits_{jCw} w$$

gdje vrijedi za:
$$C_{12} = W_1 = 9$$
$$C_{13} = W_1 = 9$$
$$C_{21} = W_2 + W_3 = 12{,}5$$
$$C_{23} = W_2 + W_3 = 12{,}5$$
$$C_{31} = W_2 + W_3 = 12{,}5$$
$$C_{31} = W_1 + W_3 = 15$$

Na osnovu dobivenih rezultata moguće je formirati matricu podudarnosti, koja glasi:

$$c = \begin{bmatrix} - & 9 & 9 \\ 12{,}5 & - & 12{,}5 \\ 12{,}5 & 15 & - \end{bmatrix}$$

Matrica razilaženja [D] dobiva se moduliranjem, izuzimanjem i dijeljenjem maksimalne razlike prema sljedećoj formuli:

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

$$d_{12} = \frac{max|v_{12} - v_{22}|; |v_{13} - v_{23}|}{max|v_{11} - v_{21}|; |v_{12} - v_{22}|; |v_{13} - v_{23}|} = \frac{\max(1{,}0653; 0{,}5184)}{\max(1{,}475; 1{,}0653; 0{,}5184)} = \frac{1{,}0653}{1{,}475} = 0{,}722$$

Rješavanjem ostalih elemenata prema primjeru, dobiva se konačna matrica razilaženja [D]. koja glasi:

$$d = \begin{bmatrix} - & 0{,}722 & 0{,}723 \\ 1 & - & 1 \\ 1 & 0{,}7213 & - \end{bmatrix}$$

Određivanje dominantne matrice podudarnosti [F] dobiva se usporedbom vrijednosti svakog elementa matrice podudarnosti [C] s graničnim vrijednostima $\underline{c}$. Granična vrijednost dobiva se sljedećom formulom:

$$\underline{c} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} C_{kl}}{n(n-1)} = \frac{9 + 9 + 12{,}5 + 12{,}5 + 12{,}5 + 15}{3(3-1)} = 11{,}75$$

Vrijednost svakog elementa matrice [F] kao dominantne matrice podudarnosti utvrđuje se na sljedeći način:

$$f_{kl} = \begin{cases} 1, ako\ je\ C_{kl} \geq \underline{c} \\ 0, ako\ je\ C_{kl} < \underline{c} \end{cases}$$

gdje vrijedi za:

$f_{12} = 9 < 11{,}75 \Longrightarrow 0$

$f_{13} = 9 < 11{,}75 \Longrightarrow 0$

$f_{21} = 12{,}5 \geq 11{,}75 \Longrightarrow 1$

$f_{23} = 12{,}5 \geq 11{,}75 \Longrightarrow 1$

$f_{31} = 12{,}5 \geq 11{,}75 \Longrightarrow 1$

$f_{32} = 15 \geq 11{,}75 \Longrightarrow 1$

Na osnovu dobivenih binarnih znamenki može se kreirati dominantna matrica podudarnosti [F], koja glasi:

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

Određivanje dominantne matrice razilaženja [G] dobiva se usporedbom vrijednosti svakog elementa matrice podudarnosti [D] s graničnim vrijednostima $\underline{d}$. Granična vrijednost dobiva se sljedećom formulom:

$$\underline{d} = \frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{m} d_{kl}}{m(m-1)} = \frac{0{,}7222 + 0{,}7231 + 1 + 1 + 1 + 0{,}7213}{3(3-1)} = 0{,}8611$$

Vrijednost svakog elementa matrice [G] kao dominantne matrice razilaženja utvrđuje se na sljedeći način:

$$g_{kl} = \begin{cases} 1, ako\ je\ d_{kl} \geq \underline{d} \\ 0, ako\ je\ d_{kl} < \underline{d} \end{cases}$$

gdje vrijedi za:

$g_{12} = 0{,}722 < 0{,}8611 \Longrightarrow 0$

$g_{13} = 0{,}7231 < 0{,}8611 \Longrightarrow 0$

$g_{21} = 1 \geq 0{,}8611 \Longrightarrow 1$

$g_{23} = 1 \geq 0{,}8611 \Longrightarrow 1$

$g_{31} = 1 \geq 0{,}8611 \Longrightarrow 1$

$g_{32} = 0{,}7213 < 0{,}8611 \Longrightarrow 0$

Agregirana matrica dominacije [E], koja sadrži elemente e_{kl}, dobiva se na sljedeći način:

$$e_{kl} = f_{kl} \times g_{kl}$$

gdje vrijedi za:

$e_{12} = f_{12} \times g_{12} = 0$

$e_{13} = f_{13} \times g_{13} = 0$

$e_{21} = f_{21} \times g_{21} = 1$

$e_{23} = f_{23} \times g_{23} = 1$

$e_{31} = f_{31} \times g_{31} = 1$

$e_{32} = f_{32} \times g_{32} = 0$

Na osnovu dobivenih rezultata moguće je kompletirati agregiranu matricu dominacije [E], koja prikazuje redoslijed odabira svake alternative. Kada je vrijednost elementa $e_{kl} = 1$, tada je alternativa A_k bolja opcija od alternative A_l. Red matrice [E] koji ima niz od najmanje

$e_{kl} = 1$ predstavlja dominaciju u odnosu na slabije alternative koje se potom eliminiraju. U ovom primjeru, Velika Gorica je bolja opcija od Jastrebarskog i Dugog Sela za lociranje logističko-distribucijskog centra. Rezultati agregirane matrice [E] pomažu u rangiranju alternativa (lokacija), gdje na prvom mjestu Velika Gorica, a zatim slijede Dugo Selo i Jastrebarsko, kao što prikazuje Tablica 15.

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

Tablica 15. Rang lista potencijalnih lokacija LDC-a

Rang	Lokacije
1.	Velika Gorica
2.	Dugo Selo
3.	Jastrebarsko

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Na osnovu usporedbe metoda višekriterijskog odlučivanja, može se zaključiti da su rješenja različita. Prema metodi analitičkog hijerarhijskog procesa najbolja opcija za lociranje logističko-distribucijskog centra je Dugo Selo, dok je prema ELECTRE metodi najbolja opcija Velika Gorica. Sa prometnog stajališta, razlog nejednakih rješenja nije poznat, ali se može pretpostavljati da je presudila kratka udaljenost do transportnih terminala, prodajnog i nabavnog tržišta koji su elementi prostornog kriterija, premda Dugo Selo sa aspekta prometne infrastrukture bolje kotira. Ova usporedba metoda višekriterijskog odlučivanja otkriva kako se kriteriji lociranja logističko-distribucijskog centra različito vrednuju, zbog čega su i rješenja različita. Ukoliko investitor ili osnivač logističko-distribucijskog centra nije zadovoljan dobivenom lokacijom, sljedeća najbolja opcija je lokacija u Dugom Selu koja je ipak bolje povezanija sa željeznicom, autocestom i industrijskom zonom ili može pristupiti određivanju lokacije drugim metodama višekriterijskog odlučivanja.

6.3. Usporedba alternativnih (kombinatornih) metoda

U ovoj skupini prikazane su metode koje se u poslovnom okruženju mogu smatrati kao alternative glavnim i najraširenijim metodama, prvenstveno u momentima kada je potrebno u kratkom vremenskom periodu paušalno odrediti lokaciju logističko-distribucijskog centra. Skupina obuhvaća metode višekriterijskog odlučivanja koje su jednostavnije od AHP-a i ELECTRE metode te metode koje u obzir uzimaju prijevozne i investicijske troškove.

Usporedba između dviju metoda višekriterijskog odlučivanja, bodovnog ocjenjivanja i vrijednosne analize, donosi ogromnu razliku, a to je primjena težinskih koeficijenata (pondera) i širi raspon ocjena, koje su prisutne u vrijednosnoj analizi. Metoda bodovnog ocjenjivanja zahtjeva jednostavnost u ocjenjivanju alternativnih lokacija, po načelu da ocjena „0“ reprezentira da lokacija ne zadovoljava postavljeni kriterij, „1“ reprezentira da lokacija djelomično zadovoljava kriterij i „2“ reprezentira da lokacija u potpunosti zadovoljava kriterij. U odnosu na opisanu metodu, vrijednosna analiza omogućava procjenjivanje težina za svaki kriterij, na način da suma pojedinih težina za svaki kriterij bude jednak 100. Vrijednosna analiza na zahtjeva identične iznose težina, čak, dapače, što je veća raznolikost težina, zadatak je bliži realnom problemu, a rješenje pouzdanije. Potom se pripadajuća težina kriterija množi s pripadajućom ocjenom kriterija alternativne lokacije, čime tvori konačni bod kriterija alternativne lokacije. Na kraju se svi bodovi zbrajaju, najpogodnijom lokacijom postaje ona koja ostvari najveći zbroj bodova. U pogledu egzaktnosti, velika prednost odlazi na stranu vrijednosne analize zbog primjene lokalnih težina.

U svrhu boljeg razumijevanja, poslužit će usporedba metode bodovnog ocjenjivanja i vrijednosne analize na primjeru određivanja jedne pogodne lokacije logističko-distribucijskog centra koji će zadovoljiti uvjete za skladištenjem i distribucijom robe. Za usporedbu odabrane su četiri alternativne lokacije koje će se vrednovati prema određenim mjerilima, kao što je prikazano na Tablici 16.

Tablica 16. Bodovno ocjenjivanje alternativnih lokacija

Redni broj	Čimbenici na odabir lokacije		Alternativne lokacije			
	Oznaka	Zahtjev	A	B	C	D
1.	Vanjska politika	usmjerenost prema državama EU-a	***1***	***0***	***2***	***0***
2.	Ekonomska politika	liberalna, slobodna trgovina	***1***	***1***	***2***	***1***
3.	Financijska politika	slobodan protok kapitala	***2***	***2***	***2***	***2***
4.	Radna snaga	obrazovni radnici	***1***	***0***	***2***	***1***
5.	Promet na razini mikrolokacije	cesta, željeznica	***1***	***1***	***2***	***1***
6.	Prodajno tržište	blizina prodajnog tržišta	***1***	***0***	***1***	***1***
7.	Vlast	spremnost na kooperativnost	***1***	***1***	***1***	***2***
8.	Zemljište	ravno, tvrdo, suho	***1***	***2***	***2***	***1***
9.	Promet na razini mikrolokacije	priključak na željeznicu	***2***	***2***	***2***	***1***
10.	Energija	min. 10kVA	***1***	***2***	***2***	***1***
11.	Troškovi	maks. 200 n.j./m^2	***2***	***1***	***0***	***1***
Ukupno:			***14***	***12***	***18***	***12***

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema Veža I.: Upravljanje zalihama i skladišno poslovanje, Sveučilište u Zagrebu Visoka škola za financijski menadžment RRiF, Zagreb, 2002., str. 22-23.

Nakon bodovnog ocjenjivanja alternativnih lokacija dobivena je najpovoljnija lokacija koja je ukupno osvojila 18 bodova. U ovom slučaju, riječ je o lokaciji ***„C“***, koja je drugu i treću alternativnu lokaciju ostavila za četiri, odnosno šest bodova. U pravilu, metoda bodovnog ocjenjivanja zasniva se na numeričkom vrednovanju više poznatih potencijalnih lokacija. Drugim riječima, ova se metoda ne bavi generiranjem optimalne lokacije, kao što je slučaj kod metode centra gravitacije. Prema tome, u svrhu donošenja odluke o lokaciji logističko-distribucijskog centra, ova se metoda može koristiti u kombinaciji s AHP-e metodom kao instrument dodatnog utvrđivanja optimalne lokacije.

Naposljetku, ostaje za saznati da li vrijednosna analiza daje isto ili različito rješenje od metode bodovnog ocjenjivanja, koja će biti popraćena Tablicom 17. U svrhu ocjenjivanja alternativnih rješenja pojedinih kriterija potrebno je odrediti interval ocjena, koji jednako vrijedi za sve kriterije. U ovom primjeru, ***„O“*** označava vrijednost ocjene kojom se procjenjuje koliko pojedino alternativno rješenje zadovoljava pojedini kriterij, a ocjene su određene sljedećim izrazom:

$$10 \leq O \leq 1$$

pri čemu ocjena:

10 - označava ocjenu koja u potpunosti zadovoljava određeni kriterij

1 - označava ocjenu koja ne zadovoljava određeni kriterij

Tablica 17. Izvedba vrijednosne analize za lociranje LDC-a

Redni broj	Mjerila za izbor lokacije	w_i	A		B		C		D	
			O	*O*w_i*	*O*	*O*w_i*	*O*	*O*w_i*	*O*	*O*w_i*
1.	Položaj glede prodajnog tržišta	4,6	4	18,4	3	13,8	7	32,2	4	18,4
2.	Položaj glede nabavnog tržišta	10,8	2	21,6	2	21,6	5	54	3	32,4
3.	Vodeni putovi	5,1	3	15,3	4	20,4	3	15,3	1	5,1
4.	Željeznički promet	4.9	8	39,2	10	49	9	44,1	4	19,6
5.	Cestovni promet	2,6	9	23,4	8	20,8	9	23,4	5	13
6.	Nosivost zemljišta	2,2	3	6,6	3	6,6	6	13,2	9	19,8
7.	Ravnoća tla	1,3	6	7,8	5	6,5	8	10,4	3	3,9
8.	Oblik zemljišta	1,8	5	9	5	9	7	12,6	3	5,4
9.	Veličina zemljišta	3,5	5	17,5	4	14	7	24,5	4	14
10.	Ugljen	4,0	1	4	1	4	2	8	1	4
11.	Nafta	1,3	6	7,8	5	6,5	5	6,5	5	6,5
12.	Energetika	4,0	7	28	6	24	8	32	6	24
13.	Plin	2,0	8	16	8	16	10	20	8	16
14.	Ostala energija	1,9	8	15,2	8	15,2	7	13,3	8	15,2
15.	Mogućnosti zapošljavanja	8,0	5	40	4	32	7	56	5	40
16.	Uvjeti stanovanja	4,8	7	33,6	6	28,8	9	43,2	6	28,8
17.	Mogućnosti školovanja	2,5	7	17,5	7	17,5	10	25	9	22,5
18.	Socijalni uvjeti	2,3	6	13,8	6	13,8	9	20,7	7	16,1
19.	Kulturni i ostali uvjeti	1,4	7	9,8	6	8,4	8	11,2	8	11,2
20.	Cijena zemljišta	10,9	8	87,2	7	76,3	5	54,5	6	65,4
21.	Investicije	9,2	4	36,8	3	27,6	8	73,6	5	46
22.	Troškovi rada	10,9	6	65,4	6	65,4	5	54,5	5	54,5
UKUPNO:		100	533,9		497,2		648,2		481,8	
REDOSLIJED			2.		3.		1.		4.	

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema Veža I.: Upravljanje zalihama i skladišno poslovanje, Sveučilište u Zagrebu Visoka škola za financijski menadžment RRiF, Zagreb, 2002., str. 25.-26.

U vrednovanju četiriju alternativnih rješenja odabrana su 22 kriterija. Timskom odlukom određena je relativna važnost pojedinog kriterija dodjeljivanjem težinskog koeficijenta w_i, pri čemu suma pojedinih težinskih koeficijenta, koji vrijedi za svaki kriterij, iznosi 100 tvoreći ukupnu važnost svih kriterija. Rezultat vrednovanja alternativnih rješenja dobiva se množenjem težinskog koeficijenta w_i sa dodijeljenom ocjenom ispunjavanja kriterija ***O*** koji vrijedi za lokaciju ***i***. Na temelju ukupnog zbroja vrijednosti, odabire se optimalna lokacija, koja je u ovom primjeru lokacija ***„C“*** *(648,2 boda)*.

Ako konačni rezultati ukazuju na snažnu konkurenciju alternativnih rješenja (na primjer, da su dvije ili više lokacija unutar 20 bodova), tada se preporučuje uzimanje u obzir subjektivnih čimbenika, kao što su interesi i stavovi investitora te institucije društveno-političkih struktura. Njihov utjecaj na donošenje krajnje odluke o lokaciji logističko-distribucijskog centra može biti vrlo značajan, posebice u vidu ekonomskog prosperiteta.

U konačnici, rezultati usporedbe metode bodovnog ocjenjivanja i vrijednosne analize pokazali su da lokacija ***„C“*** dominira nad ostalim alternativnim lokacijama, jer najbolje

ispunjava postavljene uvjete za lociranje logističko-distribucijskog centra koji će opskrbiti regionalnu prometnu mrežu. Na osnovu dobivenih rezultata, može se zaključiti da lokalne težine ne utječu na moguću promjenu krajnjih rezultata već donose realnu sliku sveobuhvatnog okruženja potencijalne lokacije za logistički centar.

Promatrajući metode koje u obzir uzimaju prijevozne i investicijske troškove, usporedna razlika leži u njihovoj namjeni. Prigodom određivanja optimalne lokacije, ove metode mogu biti nadopuna glavnim metodama, koje mogu doprinijeti kvalitetnoj odluci investitora ii drugih interesnih skupina o lokaciji logističko-distribucijskog centra ili mogu poslužiti kao dodatni nezavisni kriterij pri vrednovanju alternativnih lokacija.

7. ZAKLJUČAK

Utjecaj slobodne međunarodne trgovine dobrima i razmjene podataka na globalnoj razini doveo je do promjena trendova na logističkom tržištu, što se, pak, odrazilo na formiranje logističko-distribucijskih centara, kao bitnim infrastrukturnim elementom logističke mreže. Njegova uloga u održivom suvremenom opskrbnom lancu je vrlo značajna, jer omogućava financijsku uštedu, veću profitabilnost, preciznije prognoziranje potražnje, rasterećenje viška zaliha, monitoring procesa radi poboljšanja performansi i efikasnosti logističkog sustava. U logističko-distribucijskim centrima, kao elementu fizičke distribucije, smješteni su nositelji logistički i distribucijskih usluga (veletrgovci, distributeri, logistički operateri i druga trgovinska poduzeća) koji pružaju konzultacijske, skladišne i prijevozne usluge, čime su postali ključna i neizostavna karika u povezivanju sve udaljenije sfere proizvodnje od sfere potrošnje, čiju je prostornu udaljenost nužno svesti na minimum. Koncept logističko-distribucijskog centra, upravo sa mehanizmom koncentracije logističkih usluga, nastoji se približiti potrošačkim centrima, radi realizacije iste u kratkom vremenu i maksimalnog zadovoljenja potražnje što korisnike centra i maloprodajne mreže čini zadovoljnima, a nositelja (davatelja) logističkih usluga uspješnim. Obzirom da logističko-distribucijski centar obuhvaća široku lepezu logističkih usluga za raznovrsne profile korisnika, u stanju je odgovoriti na kolebljivu potražnju i stroge zahtjeve korisnika koji se interesiraju za integrirane logističke usluge.

Kod osnivanja logističko-distribucijskog centra pojavljuju se brojni izazovi, od kojih se mogu navesti: postavljanje logističkog sustava i ustrojstvo organizacije (reprezentira uzajamno i djelotvorno djelovanje cjelokupnih sektora koji čine strukturu interne organizacije), oblikovanje efikasne i profitabilne distribucijske mreže (implicira utvrđivanje kanala distribucije i broj lokacija centara kojima se želi pokriti određena tržišta), odabir modela upravljanja skladišnim objektom, odabir pogodne lokacije u odnosu na vlastite interese i resurse (koja se određuje primjenom lokacijskih metoda) te utvrditi skladišne i prijevozne kapacitete.

Lokacijska teorija, obrađena u trećem poglavlju diplomskog rada, pokazuje da utjecajni čimbenici i parametri izgradnje imaju značajnu ulogu u određivanju optimalne lokacije logističko-distribucijskog centra, kao središnjeg prometnog čvorišta distribucijske mreže, u kojem ključnu ulogu odigrava struktura robnih tokova, kvaliteta prometne

infrastrukture, gospodarski razvoj regije i raspoloživi ljudski potencijali. U tu svrhu, glavni dio izložene tematike obrađuje najkorištenije metode iz triju podijeljenih skupina metoda koje omogućavaju rješavanje realne problematike određivanja lokacije logističkog centra, kao najpovoljnijeg omjera između troškova i koristi. Provedena analiza i metoda usporedbe pojedinih lokacijskih metoda na višoj i nižoj razini omogućava uvid u proceduralne razlike i zajednička svojstva gravitacijskih, višekriterijskih i kombinatornih metoda. Primjena lokacijskih metoda u logističkim sustavima osigurava racionalnu eksploataciju resursa, kvalitetniji logistički servis, kvalitetnije performanse logističkih funkcija, povećanje ukupne vrijednosti proizvodnje proizvoda logističkog centra, a najvažnije od spomenutog, ono osigurava, s jedne strane, povećanje profita, a s druge strane, smanjenje ukupnih troškova logističkog centra. Međutim, primjena metoda u programskim alatima, utemeljenim na elektronskoj verziji, povećava vjerojatnost dobivanja egzaktnih rješenja lokacijskog problema, što ide u korist uključenim interesnim skupinama, a napose investitoru ili osnivaču logističkog centra. Prema tome, na osnovu analiziranih metoda i izrađenih primjera rješavanja, lokacijske metode imaju toliko presudan značaj da, u konačnici, mogu razlikovati uspješno (ekonomično) poslovanje od neuspješnog.

Usporedbom lokacijskih metoda na grupnoj razini utvrđena je proceduralna razlika u određivanju lokacije logističko-distribucijskog centra na određenom regionalnom području, kao i razlika u dobivenim rješenjima s obzirom na poprilično slične ulazne parametre, tj. varijable. Na primjeru određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra pomoću gravitacijskih metoda uočena su različita rješenja, iako su se koristile identične ulazne vrijednosti. Metodom centroida utvrđeni su ukupni prijevozni troškovi u iznosu od 4404,06 novčanih jedinica, a metodom medijan ukupni prijevozni troškovi iznose 4195,8 novčanih jedinica, što je ušteda od 208,26 novčanih jedinica. Premda je metoda centroida iterativan postupak kojim se dobivaju poboljšana rješenja, nije se pokazala uspješnijom u odnosu na metodu medijan od koje se očekivalo lošije rješenje. Na primjeru određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra pomoću metoda višekriterijskog odlučivanja uočena je razlika u određivanju lokalnih težina, gdje ih u metodi ELECTRE određuje donositelj odluke, a u metodi AHP-e se dobivaju prema utvrđenim matematičkim izrazima. AHP-e metoda je prikazala Dugo Selo kao najbolju opciju za lociranje logističko-distribucijskog centra sa apsolutnom dominacijom od 52,1% i stupnjem konzistentnosti među kriterijima od 0,00345, što je u granicama dozvoljenog, dok je metoda ELECTRE prikazala Veliku Goricu kao najbolje rješenje, jer ima niz vrijednosti od $e_{kl}=1$. Prilikom određivanja lokacija logističkog

centra pomoću AHP-e i ELECTRE metode, potrebno je veliku pozornost obratiti na stupanj i indeks konzistentnosti, jer ako nije ispod dozvoljene granice nužno je ponovno procjenjivati relativne važnosti među kriterijima ili alternativama. Isto to vrijedi i za metodu ELECTRE. Ako nadvišene relacije među kriterijima i potkriterijima nisu pravilne i logične, rješenja će biti pogrešna, zbog čega je potrebno izvršiti provjeru nadvišenih relacija. Na primjeru određivanja lokacije logističko-distribucijskog centra pomoću alternativnih (kombinatornih) metoda uočena je razlika u primjeni lokalnih težina kojima se procjenjuje utjecajna važnost pojedinih kriterija na razini svih kriterija. Međutim, ta razlika nije utjecala na donošenja različitih rješenja, već je usporedbom dobiveno jednako rješenje. Sa tog stajališta, nema značajnih prednosti i nedostataka među bodovnim ocjenjivanjem alternativa i vrijednosnom analizom, osim u primjeni lokalnih težina kod vrijednosne analize.

Suvremeni pristup određivanju optimalne lokacije logističko-distribucijskog centra postaje nezamisliv bez podrške programskih alata, jer smanjuju vjerojatnost pogreške ljudskog faktora i ukazuju na nelogičnost u procjenjivanju vrijednosti. U konačnici, poželjno je primjenjivati nekoliko metoda za određivanje lokacije logističko-distribucijskog centra, jer je potrebno uzeti u obzir vjerojatnost dobivanja diferentnih rješenja s obzirom na ulazne parametre koji se od metode do metode različito vrednuju.

LITERATURA

Knjige:

[1] Ivaković, Č., Stanković, R., Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.

[2] Veža, I.: Upravljanje zalihama i skladišno poslovanje, Sveučilište u Zagrebu, Visoka škola za financijski menadžment (RRiF), Zagreb, 2002.

[3] Zečević, S.: Robni terminali i robno-transportni centri, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2006.

[4] Šamanović, J.: Logistički i distribucijski sustavi, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 1999.

[5] Zelenika, R.: Logistički sustavi, Sveučilište u Rijeci, Ekonomski fakultet, Rijeka, 2005.

[6] Zečević, S.: Robni terminali i robno-transportni centri, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2009.

[7] Babić, D.: Model kategorizacije logističko-distribucijskih centara, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.

[8] Šego, D.: Utjecaj izgradnje LDC-a Šibenik na gospodarski razvoj Šibensko-kninske županije, Specijalistički rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Znanstveni članci, studije, skripte i prezentacije:

[9] Kesić, B., Jugović, A., Perko, N.: Potrebe i mogućnosti organizacije logističko-distribucijskog centra u Riječkoj regiji, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Pomorski zbornik 42 (2004)1, Rijeka, 2005., str. 187-208.

[10] Kayikci, Y.: A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions, Procedia - Social and Behavoiral Sciences, The Sixth International Conference City Logistics, Vol. 2, No. 3, 2010., str. 6297-6311.

[11] Zak, J., Weglinski, S.: The selection of the logistics center location based on MCDM/A metodology, Transportation Research Procedia, 17th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, Vol. 2, str. 555-564.

[12] Meidute, I.: Comparative analysis of the definitions of logistics centre, Transport, Vol. 20, No. 3, 2005., str. 106-110.

[13] Klapita, V., Švecová, Z.: Logistics centre location, Transport, Vol. 21, No. 1, 2006., str. 48-52.

[14] Beamon, B.: Designing the Green Supply Chain, Logistics Information Management, Vol. 12, No. 4, 1999., str. 332-342.

[15] Knežević, B., Habuš, I., Knego, N.: Distribucijski centar kao izvor poslovne učinkovitosti - Empirijski uvid, Sveučilište u Osijeku, Ekonomski fakultet, Poslovna logistika u suvremenom menadžmentu X/2010, Osijek, 2010., str. 147-165.

[16] Babić, D., Ščukanec, A., Rogić, K.: Criteria of categorizing logistics and distribution centres, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Promet - Traffic&Transportation, Vol. 23, No. 4, 2011., str. 279-288.

[17] Petar, S., Bajor, I., Radulović, S.: Technology transfer and logistics-distribution centres, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Promet - Traffic&Transportation, Vol. 23, No.1, 2011., str. 19-24.

[18] Mlinarić, T. J.: Robno-transportni centri, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013. *dostupno na http://files.fpz.hr/Djelatnici/tmlinaric/Robno-transportni-centri-skripta.pdf*

[19] Ivaković, Č.: Pozicija logističkih centara Hrvatske u odnosu na centre CEE regije, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, (prezentacija) *dostupno na http://www.transport-logistika.com.hr/dogadjanja/Eurotrans2009/prezentacije/cedomir%20ivakovic.pdf*

[20] Capgemini & Prologis: Europe's most wanted distribution center locations - Results of a Survey *dostupno na http://weglo.jp/wp/wp-content/uploads/2014/05/1173176822tl_distribution_center_study.pdf*

[21] Rogić, K.: Predavanja iz kolegija Distribucijska logistika I, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011./2012. (skripta)

[22] Radulović, S.: Logističko-distribucijski centri, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012./2013. (prezentacija)

Internet stranice:

[23] http://nastava.sf.bg.ac.rs/pluginfile.php/10585/mod_resource/content/0/vezbe/LOKACIJSKI_MODELI.pdf (25.4.2015.)

[24] http://bsrdjevic.tripod.com/download/5.pdf (27.4.2015.)

[25] https://www.scribd.com/doc/212288335/Logisticki-Centri-Seminarski-rad (13.12.2014.)

[26] http://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.LMPP/149-2013.pdf (10.5.2015.)

[27] http://www.poslovniforum.hr/novo/istrazivanje-analiza-trzista.asp (15.2.2015.)

[28] http://www.supplychainmusings.com/2010/11/conventional-supply-chain-strategies.html (20.2.2015.)

[29] http://crackmba.com/traditional-vs-new-supply-chain-models/ (20.2.2015.)

[30] http://europa.eu/pol/pdf/flipbook/hr/transport_hr.pdf (14.5.2015.)

[31] http://www.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/Outranking_Mousseau.pdf (30.5.2015.)

[32] http://www.ho-cired.hr/referati/SO5-05.pdf (3.6.2015.)

[33] http://web.efzg.hr/dok/INF/Ceric/SPO/%282c%29_vi%C5%A1ekriterijsko_odlu%C4%8Divanje.pdf (3.6.2015.)

[34] http://web.efzg.hr/dok/OIM/dtipuric/Visekriterijsko%20odlucivanje.pdf (3.6.2015.)

[35] http://hrcak.srce.hr/file/41390 (3.6.2015.)

[36] http://www.academia.edu/388213/Ranking_of_Strategic_Plans_in_Balanced_Scorecard_by_Using_Electre_Method (10.6.2015.)

[37] https://hr.wikipedia.org/wiki/Europska_ekonomska_zajednica (07.9.2015)

[38] http://www.intechopen.com/books/supply-chain-management-pathways-for-research-and-practice/lean-supply-chain-practices-and-performance-in-the-context-of-malaysia (07.9.2015.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Koncept tradicionalnog opskrbnog lanca 4
Slika 2. Koncept suvremenog opskrbnog lanca 5
Slika 3.Istraživački pristupi konceptu logističkog centra 10
Slika 4. Transformacije robnih tokova 12
Slika 5. Omjer roka isporuke i troškova zaliha prema broju lokacija objekta 16
Slika 6. Odnos ukupnih prijevoznih troškova i troškova objekta prema broju lokacija objekta 17
Slika 7. Zemlje s najvećim brojem europskih logističko-distribucijskih centara 18
Slika 8. Modeli formiranja logističko-distribucijskih centara 19
Slika 9. Shematski prikaz kategorizacije logističko-distribucijskih centara prema funkciji 24
Slika 10. Postupak sustavnog odabira lokacije logističko-distribucijskog centra 29
Slika 11. Odabir lokacije skladišnog objekta po modelu Devon 39
Slika 12. Osnovni model analitičkog hijerarhijskog procesa 47
Slika 13. Model određivanja lokacije LDC-a u AHP-u 73

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba upravljačkih karakteristika tradicionalnog i suvremenog opskrbnog lanca 6
Tablica 2. Operacije logističko-distribucijskog centra 13
Tablica 3. Kategorije logističko-distribucijskih centara 27
Tablica 4. Saatyeva ljestvica relativne važnosti 48
Tablica 5. Ulazne vrijednosti 65
Tablica 6. Ulazne vrijednosti 68
Tablica 7. Usporedba kriterija za određivanje lokacije LDC-a 73
Tablica 8. Normalizirana matrica *A'* 74
Tablica 9. Slučajni indeksi 75
Tablica 10. Usporedba lokacija sa aspekta robnih tokova 76
Tablica 11. Usporedba lokacija sa aspekta prostornog kriterija 76
Tablica 12. Usporedba lokacija sa aspekta prometne infrastrukture 77
Tablica 13. Agregirana matrica rangiranja 77
Tablica 14. Usporedba kriterija i alternativa 78
Tablica 15. Rang lista potencijalnih lokacija LDC-a 82
Tablica 16. Bodovno ocjenjivanje alternativnih lokacija 84
Tablica 17. Izvedba vrijednosne analize za lociranje LDC-a 85

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1.Pitagorin poučak o udaljenosti 42
Grafikon 2. Položaj pojedinih kupaca u prostoru 67

PRILOZI

Tablica 1. Dobivena rješenja

Kupac	**X_i**	**Y_i**	**X_i*w_i**	**Y_i*w_i**	**w_i**
Osijek	212	126	2035,2	1209,6	9,6
Varaždin	126	174	680,4	939,6	5,4
Zadar	81	26	340,2	109,2	4,2
Poreč	20	98	60	294	3
Vinkovci	216	107	648	321	3
Sl. Brod	187	96	448,8	230,4	2,4
N. Gradiška	163	104	391,2	249,6	2,4
Bjelovar	143	150	343,2	360	2,4
Zagreb1	112	139	2016	2502	18
Zagreb2	109	140	1831,2	2352	16,8
Karlovac	92	116	220,8	278,4	2,4
Rijeka	51	107	489,6	1027,2	9,6
Pula	29	75	87	225	3
Ukupno:			9591,6	10098	82,2

Tablica 2. Dobivena rješenja

Kupac	**"X"**	**"Y"**	**$(\bar{X} - X_i)^2$**	**$(\bar{Y} - Y_i)^2$**	**d_i**
Osijek	212	126	9084,734	9,943204	109,6709
Varaždin	126	174	86,74815	2616,659	59,79344
Zadar	81	26	1273,5	9379,286	118,6942
Poreč	20	98	9348,208	617,3593	114,8018
Vinkovci	216	107	9863,244	251,1184	115,6557
Sl. Brod	187	96	4944,04	720,7461	86,55449
N. Gradiška	163	104	2144,974	355,1987	57,50199
Bjelovar	143	150	692,4197	737,3009	43,48339
Zagreb1	112	139	21,95983	260,9286	19,34218
Zagreb2	109	140	59,07662	294,2352	21,61608
Karlovac	92	116	609,4051	46,87751	29,46072
Rijeka	51	107	4314,668	251,1184	77,70619
Pula	29	75	7688,858	2289,308	114,8744

Tablica 3. Dobivena rješenja

Kupac	**d_i**	**(X_i*w_i/d_i)**	**(Y_i*w_i/d_i)**	**(w_i/d_i)**
Osijek	109,6709	18,55734	11,02936	0,087535
Varaždin	59,79344	11,37917	15,7141	0,090311
Zadar	118,6942	2,866189	0,920011	0,035385
Poreč	114,8018	0,52264	2,560935	0,026132
Vinkovci	115,6557	5,602836	2,775479	0,025939
Sl. Brod	86,55449	5,185173	2,661907	0,027728
N. Gradiška	57,50199	6,803243	4,340719	0,041738
Bjelovar	43,48339	7,892668	8,279023	0,055193
Zagreb1	19,34218	104,2282	129,3546	0,930609
Zagreb2	21,61608	84,71472	108,8079	0,777199
Karlovac	29,46072	7,494726	9,449872	0,081464
Rijeka	77,70619	6,300656	13,21902	0,123542
Pula	114,8744	0,757349	1,958661	0,026115
Ukupno:		262,3049	311,0716	2,328891

Tablica 4. Dobivena rješenja

Kupac	**"X"**	**"Y"**	$(\bar{X} - X_i)^2$	$(\bar{Y} - Y_i)^2$	$\mathbf{d_i}$
Osijek	212	126	9874,237	57,31536	114,6057
Varaždin	126	174	178,7353	1634,529	48,96981
Zadar	81	26	1000,508	11571,45	128,9435
Poreč	20	98	8580,466	1265,274	114,1096
Vinkovci	216	107	10685,19	706,0016	122,739
Sl. Brod	187	96	5530,777	1411,557	95,81877
N. Gradiška	163	104	2537,056	874,4258	67,16907
Bjelovar	143	150	922,2879	269,9222	39,70765
Zagreb1	112	139	0,397917	29,4774	6,285706
Zagreb2	109	140	13,18276	41,33602	8,491235
Karlovac	92	116	425,6302	308,7292	31,16393
Rijeka	51	107	3798,356	706,0016	77,18169
Pula	29	75	6994,112	3430,526	117,4163

Tablica 5. Dobivena rješenja

Maloprodajni objekt	X_i (po uzlaznom redoslijedu)	w_i	$\sum_{i=1}^{j} w_i$
Poreč	20	3	3
Pula	29	3	6
Rijeka	51	9,6	15,6
Zadar	81	4,2	19,8
Karlovac	92	2,4	22,2
Zagreb2	109	16,8	39
Zagreb1	112	18	57
Varaždin	126	5,4	62,4
Bjelovar	143	2,4	64,8
N. Gradiška	163	2,4	67,2
S. Brod	187	2,4	69,6
Osijek	212	9,6	79,2
Vinkovci	216	3	82,2

Tablica 6. Dobivena rješenja

Maloprodajni objekt	Y_i (po uzlaznom redoslijedu)	w_i	$\sum_{i=1}^{j} w_i$
Zadar	26	4,2	4,2
Pula	75	3	7,2
S. Brod	96	2,4	9,6
Poreč	98	3	12,6
N. Gradiška	104	2,4	15
Vinkovci	107	3	18
Rijeka	107	9,6	27,6
Karlovac	116	2,4	30
Osijek	126	9,6	39,6
Zagreb1	139	18	57,6
Zagreb2	140	16,8	74,4
Bjelovar	150	2,4	76,8
Varaždin	174	5,4	82,2

Tablica 7. Dobivena rješenja

Maloprodajni objekt	$w_i \cdot \lvert X_i - \bar{X} \rvert$	$w_i \cdot \lvert Y_i - \bar{Y} \rvert$
Osijek	300	124,8
Varaždin	75,6	189
Zadar	130,2	474,6
Poreč	276	123
Vinkovci	312	96
Sl. Brod	180	103,2
N. Gradiška	122,4	84
Bjelovar	74,4	26,4
Zagreb1	0	0
Zagreb2	50,4	16,8
Karlovac	48	55,2
Rijeka	585,6	307,2
Pula	249	192
Ukupno	2403,6	1792,2