B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Logistično inženirstvo
Modul: Poslovna logistika

OPTIMIZACIJA TRANSPORTNIH STROŠKOV

Mentor: mag. Dragan Marić, univ. dipl. inž. tehnol. prom
Lektorica: Tanja Zečević, dipl. prof. slo. j
Kandidatka: Hati Matijašević

Tržič, december 2022

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju prof. mag. Draganu Mariću za odlična predavanja, usmerjanje, strokovne nasvete in vsestransko pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Tanji Zečević, ki je vložila čas in znanje ter lektorirala mojo diplomsko nalogo.

Posebej pa bi se rada zahvalila partnerju Danijelu, ker je verjel vame, me spodbujal in podpiral pri študiju ter pisanju diplomske naloge.

Hvala družini, prijateljem in sodelavcem, ki so me podpirali in spodbujali med študijem.

IZJAVA

Študentka Hati Matijašević izjavljam, da sem avtorica tega diplomskega dela, ki sem ga napisala pod mentorstvom prof. mag. Dragana Marića.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne ______________ Podpis: ___________________

POVZETEK

Neustrezna organizacija logističnih procesov lahko povzroči težave in zmanjša izkoriščenost transportnega omrežja. Uporaba matematičnih metod in programskih orodij je prednost pri zmanjšanju možnosti tovrstnih težav in njihovi rešitvi, če težave nastanejo.

V diplomskem delu bo opisan pomen transporta, izvedena bo analiza ugotovljenih težav na transportnem omrežju in posledice nastanka. Podan bo primer raziskave v izmišljenem transportnem podjetju. Z uporabo matematičnih metod in uporabo določnega programskega orodja bodo predstavljeni rezultati analize nekaterih težav na transportnem omrežju.

Cilj diplomske naloge je optimizirati stroške transporta. Z ustreznimi sredstvi načrtovanja, vodenjem in sprejemanjem odločitev lahko optimiziramo stroške, ki nastanejo v logistiki.

KLJUČNE BESEDE

- transport
- optimizacija problema
- matematične metode
- programsko orodje

ABSTRACT

Inadequate organization of logistics processes can cause problems and reduce the utilization of the transport network. The use of mathematical methods and software tools is an advantage to reduce the possibility of such problems and to solve them if problems occur.

The importance of transport will be described throughout the thesis, and the identified problems on the transport network and their consequences will be analysed. An example of research in a fictional transport company will be given. Using mathematical methods and the use of a specific software tool, the results of the analysis of some problems on the transport network are presented.

The aim of the thesis is to optimize transport costs. With appropriate means of planning, management and decision-making, we can optimize the costs incurred in logistics.

KEYWORDS

- transport
- optimization problems
- mathematical methods
- software tools

KAZALO

KAZALO SLIK

KAZALO TABEL

KRATICE IN AKRONIMI

JIT:	Proizvodnja v pravem času (angl. *Just in time)*
kg:	Kilogram
t:	Tona
l:	Liter
MS:	Microsoft
MODI:	Spremenjena porazdelitev (angl. *Modified distribution*)

1 UVOD

Danes je logistika pomembna dejavnost, ki je zelo razširjena in jo najdemo skoraj v vsaki panogi, saj so transportne storitve potrebne povsod. Bistvo koncepta logistike je celovit pristop v njegovih komponentah dejavnosti, kot so organizacija dobavne verige, ravnanje z materiali, storitve za potrošnike, logistična komunikacija, vodenje zalog, skladiščenje, transport, ugotavljanje optimalne lokacije skladišč in še mnogo drugih dejavnosti, ki jih danes zagotavlja logistika.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Z razvojem logistike se povečuje tudi pomen transportne logistike, katere nalogi sta kakovost vodenja in načrtovanje fizičnih premikov blaga in potnikov od začetka do konca točke transportnega omrežja. Človek je najpomembnejši dejavnik pri povezovanju teh dejavnosti. S sprejetjem koncepta integrirane logistike lahko podjetje med drugim doseže optimalne minimizirane stroške.

Večina logističnih problemov nastane pri načrtovanju, vodenju logističnih procesov in oskrbovalni verigi. Pri načrtovanju organizacije transportne poti ima pomembno funkcijo transportno omrežje, saj na njem poteka prevoz med začetno in končno točko. Oblikovanje transportnega omrežja vključuje različna transportna sredstva, lokacije in poti, po katerih se blago transportira. Neustrezna organizacija procesa lahko zmanjša izkoriščenost prometnega omrežja.

Cilj je dostaviti izdelke na pravo mesto, ob pravem času, v optimalnih količinah in po ustrezni zalogi po najnižje mogočih stroških. Logistični sistem vključuje vse aktivnosti pri učinkovitem gibanju blaga od proizvajalca do potrošnika. Sestavljen je iz sistema naročanja in dostave, upravljanja inventarja, skladiščenja, ravnanja z blagom, pakiranja in transporta.

V diplomski nalogi bomo na kratko predstavili transport in njegove naloge pri logistiki. Predstavljena bo optimizacija transportnih stroškov v transportnem podjetju, kjer bo uporabljen transportni prevoz z minimalnimi stroški. Velik pomen v logistiki ima transportni problem, saj se z njim določata možnost prevoza, ki izpolni potrebe uporabnikov in izvajalcev, ter optimalna izraba razpoložljivih kapacitet. Osredotočili se bomo na primer transportnega podjetja, kjer bomo opisali celoten postopek računanja transportnega omrežja distribucijskih centrov in distribucijskih enot. Z uporabo matematičnih metod in programskega orodja bomo lahko izračunali optimalne transportne stroške in s tem izboljšali izkoriščenost transportnega omrežja.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj diplomske naloge je raziskati osnovne naloge transporta in poiskati optimalno rešitev na primeru za boljši izkoristek transportnega omrežja in znižanje transportnih stroškov. Slednje bomo ugotavljali s pomočjo matematične metode ter programskim orodjem.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavka raziskovalnega dela so transportni stroški. Na kratko bodo opisani pomen transporta in najpomembnejši dejavniki načrtovanja transporta. Glede na konkurenčno tržišče moramo danes nenehno spremljati transportne stroške, ki nastanejo kot posledica odvečno načrtovanega transporta. Na primeru bomo poiskali optimalno rešitev, ki bo veliko ugodnejše za izmišljeno transportno podjetje. Omejitev predstavlja to, da smo raziskovali podjetje, ki se tudi v realnosti ukvarja s transportom. Izbrani primer je predpostavljen kot realna raziskava.

1.4 METODE DELA

Za raziskovanje diplomske naloge smo uporabili naslednje metode:

- metoda deskripcije (predstavljena teoretična dejstva, metode in pojmi);
- matematične metode (izračuni, metoda stopalnikov, metoda MODI in računalniški program Slover – reševalec);
- metoda opisovanja (opisani matematični izračuni, dejstva procesov);
- metoda kompilacije (povzete informacije iz strokovne literature in virov).

2 TRANSPORT

Transport razumemo kot prostorsko ali krajevno spremembo blaga. Poznamo notranji in zunanji transport. V diplomski nalogi se bomo osredotočili na slednjega. Zunanji transport je eden izmed delov logistike, na katerega vplivajo zunanji dejavniki: obstoječa infrastruktura, zunanji promet s sredstvi (tarife), zakonski predpisi (znaki, omejitve) in sekundarni transportni stroški, kot so cestnine, carine, parkirnine itd. (Regodić, 2014).

Vsako prevozno sredstvo je mogoče oceniti na podlagi (Regodić, 2014):

- stroškov, ki nastanejo zaradi prevoza;
- naključnih stroškov;
- drugih logističnih stroškov;
- vplivov stroškov, ki so izven logistike.

Kriterij uspešnosti so čas in pogostost prevoza, fleksibilnost (prilagodljivost prevoznega sredstva), začetne in končne točke lokacije, varnost in točnost itd.

Regodić navaja, da je za logistiko najpomembnejši sistem JIT. Beležita se prilagodljivost transportnih sredstev in njihova hitrost, ki se meri na podlagi hitrosti vozila in časa trajanja procesa (obdelovanje in pretovarjanje).

Dejavnosti nakladanja in razkladanja se v transportu lahko štejejo kot začetni in končni čas, ki ga je treba skrajšati, posebej če obstajajo ozka grla prometne poti. S krajšanjem časa se bolje izkoristijo obstoječe zmogljivosti, posledično pa se skrajša čas prevoza blaga.

Za prevoz blaga je na voljo več možnih sredstev (Regodić, 2014):

- cestni transport;
- železniški transport;
- vodni transport;
- letalski transport;
- kombinirani transport.

Podjetja uporabljajo eno ali več vrst prevoznih sredstev in različne prometne sisteme. Osredotočili se bomo na cestni transport, ki je eno od možnih sredstev in je prisoten tudi v najmanj razvitih državah sveta. Cestni transport je najbolj dostopen, ne glede na to, kako je dostopna lokacija. Lahko rečemo, da je hitra vrsta prevoza, ki je najbolj tvegana z vidika zunanjih vplivov in možnosti kraje. Zmogljivosti cestnega transporta omejujejo zmogljivost prevoznega vozila, vrste proizvoda in zakonske ureditve. Današnje cene cestnega transporta so precej visoke. V nasprotju z drugimi vrstami transporta je optimalen za dostavo od vrat do vrat (Regodić, 2014).

Cestni transport delimo na (Regodić, 2014):

- delovna vozila, kot so bagri, avtodvigala, traktor …,
- tovorna vozila, kot so polpriklopniki s prikolicami, druga pripeta vozila …,
- tovor in kosovni izdelki z majhnimi pošiljkami do 31,5 kg in kosovne pošiljke do 2 t.

Prednost cestnih tovornih vozil je njihova visoka prilagodljivost glede na razmere spreminjajoče se transportne naloge in sposobnost prilagajanja do časa sprejema. Slabost cestnih tovornih vozil je, da so odvisna od vremenskih razmer in motenj v prometu ter je omejen obseg prevozov (Regodić, 2014). Celovit opis prednosti in slabosti je predstavljen v tabeli 1.

PREDNOSTI	**SLABOSTI**
Prevoz od vrat do vrat.	Velika poraba goriva.
Nizki terminalski stroški.	Višje cene na daljših razdaljah.
Majhne prilagodljive transportne enote.	Nizka učinkovitost pogonske moči.
Komercialna hitrost transporta.	Občutljivost za vremenske razmere.
Boljša varnost blaga med transportom.	Večje onesnaževanje okolja.
Delo vse leto.	Nizka produktivnost dela.

Tabela 1: Prikaz nekaterih prednosti in slabosti cestnega transporta
Vir: (Regodić, 2014)

V nadaljevanju bomo predstavili osnovne naloge transportne logistike, ki so pomembne danes in bodo tudi v prihodnje.

3 NALOGE TRANSPORTNE LOGISTIKE

Distribucijska logistika je povezava med proizvodno in prodajno funkcijo v podjetju. Vključuje vse procese skladiščenja in transporta blaga od prejemnika ter povezane funkcije obveščanja, upravljanja in nadzor dejavnosti. V procesu distribucije se načrtujejo distribucijske in skladiščene površine, spremlja se nivo zalog in vodi zunanji transport (Regodić, 2014).

Cilj je pripraviti pravo blago na pravem mestu ob pravem času in pravi količini ter najti optimalno razmerje med storitvami dostave in stroški (Regodić, 2014).

3.1 ČASOVNA USKLAJENOST

Kot navajajo Avadian Kootanaee, Babu in Talari (2013), je proizvodnja ob pravem času japonska filozofija upravljanja, ki se uporablja v proizvodnji in vključuje prave izdelke, prave kakovosti in količine na pravem mestu ob pravem času. Pravočasna dobava (JIT) je proizvodni sistem, ki identificira skrite težave v oskrbovalni verigi in zmanjšuje proizvodne odpadke sistema. Deluje tako, da proizvajalec začne proizvodnjo, ko od kupca dobi naročilo. Na ta način se proizvajalec izogiba skladiščenju zalog in ustvarjanju odvečnih proizvodnih odpadkov. Cilj JIT je »0 inventarja«, ki ga je v praksi težko doseči. JIT je opredeljen kot proizvodna filozofija, ki vključuje imeti blago, prave količine in kakovost na pravem mestu ob pravem času (Regodić, 2014). Nabor vseh prednosti in slabosti sistema JIT smo zajeli v tabeli 2.

PREDNOSTI	SLABOSTI
Nižja raven zalog.	Kulturne razlike.
Zanesljiv čas dostave.	Specifičnost industrije.
Manj odpadkov.	Potreba po spremembi.
Večja produktivnost in učinkovitost.	Izguba avtonomije.
Povečan nivo kakovosti.	Dobavitelj ne izpolni dogovorjenega roka.
Boljša komunikacija znotraj podjetja.	Odpovedi dostave.
Zmanjšanje dokumentacije.	Iskanje novih dobaviteljev.
Več delovnih mest.	

Tabela 2: Prednosti in slabosti sistema JIT
Vir: (Regodić, 2014)

Prednosti sistema JIT so nižja raven zalog, kar pomeni nižje naložbe v zaloge. Sistem zahteva najmanjšo količino materialov, ki so potrebni za takojšni proizvod. Tako se bistveno zmanjša celotna raven zalog. Celoten sistem temelji na surovinah, dobavljenih ob pravem času na pravo mesto, ko je izdano naročilo za proizvodnjo. S tem načinom predelave se proizvajalec izogiba skladiščenju zalog in ustvarjanju odvečnih proizvodnih odpadkov. Sistem je odvisen od dobavnega roka, zato mora biti zanesljiv. Če nastane zamuda pri distributerju, se ustavi proizvodnja, kar lahko povzroči veliko finančno izgubo. Povečanje kakovosti izdelka je posledica pogostejših naročil. S tem lahko hitreje oz. pravočasno odkrijejo napake v materialih, ki so potrebni za proizvodnjo. Odkrivanje napak vodi v odpravo zmanjšanja števila končnih izdelkov z napakami in s tem v manjše količine končnih odpadkov. Za pravilno delovanje sistema ob pravem času je potrebna komunikacija znotraj podjetja, ki zagotovi, da so potrebne informacije na pravem mestu ob pravem času. Posledično se zmanjša število administrativnih papirjev in stroškov. Stroške nabavljenih materialov je mogoče znižati tudi z obsežno analizo vrednosti in aktivnostmi kooperativnega razvoja dobaviteljev. Večje ko je podjetje, večji je obseg dela in posledično je tudi več zaposlenih (Regodić, 2014).

Številne prednosti uporabe sistema JIT so pogosto navedene kot omejitve. Ugotovljene slabosti sistema JIT so npr. kulturne razlike. Celoten sistem je namreč povezan z japonsko kulturo, ki povzema njihov način razmišljanja in priznano delovno etiko na svetovnem nivoju. Kulturne razlike lahko vplivajo na uspeh ali neuspeh sistema. Pogosto se pojavijo težave z delavci, ki se težko privajajo na drugačne pogoje in način dela. Takšen sistem zahteva spremembo tradicionalnega načina dela. Sistem prehoda od večje do zelo majhne količine zalog je lahko izziv za podjetja, saj se zaradi predhodne uporabe večjih zalog ne odzivajo pravočasno na spremembo povpraševanja. S tem sistem JIT izgublja avtonomijo, saj je podjetje odvisno od drugih sistemov in omejeno s časom dostave. Če dobavitelj ne izpolnjuje dogovorjenih rokov, se proizvodnja ustavi in nastane velika finančna izguba. Dostava se lahko odpove v primerih, ko se pojavijo težave s kakovostjo, zaradi izpadov obrata, zaradi visokih cen in proizvodnje nestandardnih izdelkov. Dodatna slabost je iskanje novega dobavitelja, saj to zahteva čas in po navadi tudi višjo ceno (Avadian Kootanaee, Babu, & Talari, 2013).

3.2 PROSTORSKA USKLAJENOST

Proces globalizacije je pomembno vplival na razvoj logistike. Oskrbovalne verige postajajo vse večje, razdalje med začetnimi in končnimi točkami dobavne verige pa vse daljše. Prevoz je pomemben del nastalih stroškov dobavnih verig. Treba je poiskati način, kako kakovostno povezati mesto proizvodnje in mesto potrošnje s kakovostnejšo prevozno storitvijo ter nižjimi transportnimi stroški (Križman & Rajter, 2010).

Prevoznik sprejme investicijske odločitve o prevozu (tovornjaki, lokomotive, letala itd.). Oblikovanje transportnega omrežja vpliva na delovanje dobavne verige, ki določa infrastrukturo, s katero se izvedejo transportne operacije. V povezavi s pretokom blaga logistiko opredelimo kot dejavnost, ki oblikuje, načrtuje, upravlja in nadzoruje postopke v določenem sistemu s področja manipulacije skladiščenja in prevoza blaga (Križman & Rajter, 2010).

Obstajajo logistična podjetja, katerih glavna dejavnost je logistična storitev. To so logistična podjetja, ki so transportna, pretovarjalna, skladiščna, špediterska, distribucijska itd.

Logistični sistem je mogoče razčleniti na ustrezne podsisteme oz. delna področja, ki vključujejo (Regodić, 2014):

- pakiranje;
- notranji transport;
- skladiščenje (surovine, polproizvodi, gotovi proizvodi);
- pretovarjanje;
- zunanjo logistiko.

Vsak od podsistemov je sestavljen iz spremenljivih komponent, ki so med seboj odvisne. Bolj natančno kot določimo te komponente, lažje je učinkoviteje razviti optimalen koncept logistike. Za reševanje težav na določenih delih področja je treba poznati celoten koncept logistike ter tako določiti nove koncepte, ki bi reševali težave v podjetjih (Regodić, 2014).

RAZLIKE MED SKLADIŠČEM IN DISTRIBUCIJSKIM CENTROM

Skladišče je prostorna poslovna zgradba, v kateri se skladiščijo zaloge. Skladiščno okolje je običajno zasnovano samo za skladiščenje in ga najpogosteje uporabljajo proizvajalci, uvozniki, izvozniki, transportna podjetja itd. Zmeda lahko nastane, če ne poznamo razlike med skladišči in distribucijskimi centri. Klasično skladišče je namenjeno skladiščenju zaloge za proizvodnjo, kot so surovine, polizdelki ali izdelki za prodajo (končni izdelki). V klasično skladiščenje lahko vključimo tudi prehodno skladiščenje, katerega funkcija je skladiščenje izdelkov v tranzitu (Regodić, 2014).

Distribucijski center v primerjavi s skladiščem prejme izdelke v velikih količinah. Izdelke predelajo in spakirajo ter dostavijo v manjših količinah. Pomembno vlogo imajo pri gibanju končnih izdelkov v drugem okolju. Nekatera podjetja uporabljajo manjša števila velikih distribucijskih centrov. Namen distribucijskega centra je pretok izdelkov, ki so prepakirani in dostavljeni različnim uporabnikom. V distribucijskem centru se velike pošiljke delijo na manjše in transportirajo v oskrbovalno verigo. Distribucijski centri so veliko večji po površini in pokrivajo večje ozemlje kot skladišča (Regodić, 2014).

Regodić (2014) navaja, da so razlogi za obstoj skladišča:

- doseganje varčnosti pri transportu, pri prevažanju večjih količin;
- ohranjanje dobaviteljev, dobri odnosi z dobavitelji;
- večji popusti ob nakupu večje količine;
- spremljanje tržnih razmer na trgu;

- podpora sistema JIT.

Skladišča se ločijo po vhodu in izhodu poslovnih sistemov. To so skladišča materiala (surovin, vhodna), skladišča polizdelkov (notranja) in skladišča gotovih izdelkov (izhodna). Skladišča materiala so surovine, ki so proizvod in so neposredno vzete iz narave. Iz surovin se izdela polizdelek, iz njega pa se na gospodaren način pridobi končni izdelek. Polizdelki so delovni predmeti, ki so bili obdelani do neke določene stopnje, in se iz njih lažje in hitreje pridobi končni izdelek. Končni izdelek je izdelek, ki se v tehnološkem procesu dokončno predela ter pridobi vse lastnosti končne uporabe (Regodić, 2014).

3.3 KOLIČINSKA IN BLAGOVNA USKLAJENOST

Pri ekonomični proizvodnji je drugačna zahteva glede količine blaga. Treba je doseči shranjevanje oz. upravljanje zalog. Cilj gospodarne proizvodnje je doseganje maksimalne poslovne uspešnosti s čim manjšimi stroški. S kakovostnim vodenjem skladiščnih procesov in poslovanja se podjetje lahko prilagodi variabilnosti povpraševanja, ki ne ustvarja visokih stroškov.

Osnovne dejavnosti skladiščenja delimo na (Regodić, 2014):
- prejem blaga;
- skladiščenje blaga;
- zagon;
- odpremo blaga.

Regodić (2014) pravi, da je za boljše delovanje sistema treba skladno in kvalitetno povezati dejavnosti ter jih optimizirati. To vodi do večje delovne učinkovitosti, nižjih stroškov in manj možnosti za napake. Z upravljanjem zalog se zmanjša neravnovesje med ponudbo, povpraševanjem in optimalno zalogo, ki omogoči stabilno proizvodnjo in prodajo. Za neprekinjeno proizvodnjo je potrebna dovolj velika količina, po drugi strani pa je zahtevana najmanjša možna količina, ki bo za poslovanje ekonomična. Zaradi nasprotujočih zahtev je upravljanje zalog zapleteno delo.

Za uspešno obvladanje količine zalog in določanje optimalne količine v posameznem podjetju se uporabljajo različne vrste analiz. Logistične strategije izstopajo kot temeljni kriteriji raziskovanja pri načrtovanju po Paretovem načelu in konceptu življenjskega cikla. Ena od analiz je Paretova, ki jo opredeljuje pravilo 80/20. Paretova analiza nam pomaga ugotoviti, na kaj se je treba osredotočiti in zakaj je vredno porabiti energijo ter čas. Pravilo 80/20 pomeni, da 80 % vrednosti zalog najdemo v 20 % blaga na zalogi. Paretova analiza je sestavljena iz petih korakov (Regodić, 2014):
- Prvi korak: Opredelitev in seznam težav (seznam težav, ki jih je treba rešiti).
- Drugi korak: Analiza okvirnih pogojev (za težave moramo ugotoviti glavni vzrok).

- Tretji korak: Analiza virov in zmogljivosti (vsako težavo točkujemo, kjer se ji dodeli številka).
- Četrti korak: Razvrščanje težav v skupine (težave je treba razvrstiti na podlagi osnovnega vzroka).
- Peti korak: Analiza za uspešen razvoj logistike in mehanizma delovanja logistike (najvišja ocena ima najvišjo prednost, najnižja ocena ima najmanjšo prednost).

V naslednjem koraku se uporabi analiza ABC, ki razvrsti blago na zalogi v tri kategorije (Regodić, 2014):

- Kategorija A: blago zelo visoke vrednosti ali velikega prometa (majhne količine blaga).
- Kategorija B: blago srednje vrednosti, ki ni tako pogosto v kroženju.
- Kategorija C: blago najmanjše vrednosti, ki opredeljuje drobno blago vrednosti prometa. V tem primeru je okoli 80 % blaga na zalogi.

Selektivno vodenje analize ABC razvršča izdelke glede na prodajo. Preverijo se pomembne razlike med visokimi in nizkimi postavkami prodaje, ki lahko pokažejo najoptimalnejšo prodajo vsakega od predmetov. Z uporabo analize ABC se vodijo vsote zaloge, potrebe po zalogi in potrebe po zalogi določenega blaga (Regodić, 2014).

4 PROBLEMI OPTIMIZACIJE

Transportno omrežje opredelimo kot sistem med seboj povezanih in usklajenih prometnih vozlišč, cestišč, koridorjev, prog, linij, transportnih verig itd. Transportno omrežje omogoča hitre in varne racionalne procese transportnih proizvodov. Namen transportnih omrežij je prevoz določenega blaga, materiala ali potnika iz enega kraja v drugega. Glavni elementi prometnega omrežja so vozlišča in loki, ki povezujejo dva ali več različnih vozlišč. Vozlišča v omrežju predstavlja infrastruktura, to so distribucijski centri, skladišča in terminali. Elementi, ki sestavljajo lok na transportnem omrežju, so ceste, koridorji in linije (Buntak, Grgurević, & Drožđek, 2012).

Probleme transportne mreže je treba optimizirati tako, da bi bila bolj kakovostna, z namenom povečanja uporabnosti. Izpostavljenost transportnim problemom je izjemno velika. Z razvojem logistike in računalniških tehnologij so se transportni problemi še povečali. Danes se za optimizacijo izzivov v transportnem omrežju uporabljajo mnoge matematične metode in programska orodja, ki jih bomo podrobneje obravnavali v nadaljevanju naloge.

4.1 TRANSPORTNI PROBLEM

Osnovni problem transporta je določitev voznega reda določenega transporta. Iz **n** izvora, kjer je tovor, je treba organizirati transport na **m** lokacijo, kjer so potrebe izvorov. Povpraševanje po tovoru je treba izpolniti z uporabo razpoložljive transportne poti, pri kateri bomo imeli najnižje transportne stroške oz. najkrajšo transportno pot. Transportne probleme rešujemo s tehniko linearnega programiranja, ki je zasnovana za modele z linearnimi ciljnimi in omejitvenimi funkcijami. Njihovo uporabo je mogoče razširiti na druga področja delovanja (Priyadharshan, 2022):

- načrtovanje in upravljanje časa;
- optimizacija omrežja;
- upravljanje zalog;
- načrtovanje procesa;
- načrtovanje virov podjetja;
- optimizacija usmerjanja.

Transportni urnik določa, iz katerega izvora se bo neka količina tovora transportirala na neki cilj in po kateri transportni poti. Osnovni transportni problem je poznan po zmogljivosti in lokaciji izvorov, razpoložljivi transportni poti, povpraševanju lokacij in stroških transporta na enoto (dolžina transportne poti). Osnovna oblika problema je še bolj kompleksna (npr. pri pretočnosti transportne poti) (Priyadharshan, 2022).

Če je skupno povpraševanje po lokaciji enako skupni kapaciteti izvorov, se problem imenuje zaprt transportni problem. To pomeni, da se dogajajo situacije, v katerih so kapacitete presežene s povpraševanji in presegajo zmogljivost, zato ni mogoče izpolniti povpraševanja. Odprti transportni problem se od zaprtega razlikuje po tem, da ni enake količine povpraševanja in ponudbe. Obstajata dve vrsti odprtih transportnih težav (Priyadharshan, 2022):

- ponudba je večja od povpraševanja;
- ponudba je manjša od povpraševanja.

Problem se pojavi, kadar ponudba presega povpraševanje in jo rešujemo z uvedbo domnevne lokacije z zmogljivostjo.

Reševanje transportnega problema na transportnem omrežju se lahko optimalno lotimo tako, da med večjim številom centrov in centrov povpraševanja omogočimo, da ima center lastno ponudbo zmogljivosti, center povpraševanja pa več povpraševanj. Za oskrbovalni center je npr. določen distributer, za center povpraševanja pa končni uporabnik (kupec). Transportne poti med omejenimi centri imajo različne cene transporta. Z reševanjem tega problema želimo doseči najboljšo optimalno možno rešitev za transport med centri. Delovni postopek je treba oblikovati v korakih, ki prispevajo k boljšemu razumevanju in preprečevanju morebitnih napak (Priyadharshan, 2022).

Pogoja, ki morata biti izpolnjena, da bi bila rešitev optimalna, sta povpraševanje po transportnem omrežju in minimalni transportni stroški. Optimalne rešitve transportnega problema, ki ga opredelimo kot optimizacijski problem, računamo z matematičnimi modeli linearnega programiranja in z različnimi metodami.

Transportni problem, poleg prometa med dvema vozliščema transportnega omrežja, se uporablja tudi v primeru lokacije z več zmogljivosti. Lokacija, ki ima več zmogljivosti, je problem pri iskanju najugodnejših lokacij za večje število centrov in z različnimi kapacitetami. Pri transportu med vozlišči je zahtevana rešitev, ki bo imela najmanjše transportne stroške. Prav tako je med lokacijami zahtevana rešitev, ki bo imela optimalno vrednost skupnih transportnih stroškov. V naslednjem poglavju bo opredeljen lokacijski problem (Matotek & Regodič, 2013).

4.2 LOKACIJSKI PROBLEM

V današnjem poslovnem okolju je lokacija skladišč in distribucij zelo pomembna. S tem podjetju prinese precejšne koristi. Pri določanju lokacije se poraja vprašanje, kje postaviti skladišče.

Lokacija skladišča vpliva na uspešno poslovanje prek stroškov transporta na relaciji skladišč. Stroški transporta so nižji, če je lokacija skladišča bližje. To pomeni, da bi morala biti ekonomičnost podjetja večja. Problem lokacije se rešuje v dveh korakih (Regodić, 2014):

- določitev optimalne lokacije znotraj podjetja;
- določitev optimalne razporeditve blaga v skladišču.

Vsak premik tovora (blago, material) povzroča stroške nakladanja in razkladanja. Omenjeno gibanje znotraj podjetja je treba zmanjšati na najmanjšo možno mero stroškov. K optimizaciji pozitivno prispeva to, da je skladiščenje čim bližje tehnološkemu procesu in da so vmesna skladišča čim bližje delovnim mestom, kjer se izvajajo ustrezne operacije (zaključek tehnološkega procesa) (Regodić, 2014).

Xianyao (2017) navaja, da je lokacijski problem problem določanja števila, lokacije izvorov in voznega reda določenega tovora. V problemu je predpostavka, da je iz izvora **n**, kjer je tovor, treba tovor pripeljati na lokacijo **m**, kjer je povpraševanje po njem. Transportni stroški, ki nastanejo, se ne nanašajo samo na transport, ampak tudi na stroške infrastrukture. Število izvorov in lokacije izvornih vozlišč predstavljajo izbor lokacij v transportnem omrežju, prek katerega se tovor prevaža, da izpolni povpraševanje na končni lokaciji. Cilj je najti optimalen transportni načrt, ki minimizira skupne stroške ob omejitvah ponudbe in povpraševanja.

Xianyao (2017) navaja, da se pri reševanju številnih problemov, tudi klasičnih transportnih problemov (npr. težave z lokacijo skladišč), pogosto uporablja algoritem Greedy, pohlepni algoritem. Naloga pohlepnega algoritma je predelati in izboljšati izbiro glede na trenutno stanje. Njegova končna rešitev je pogosto lokalna optimalna rešitev. Pohlepni algoritem se uporablja tudi pri nekaterih bolj zapletenih problemih na drugih področjih. Ruizab je uporabil nov ponavljajoči se pohlepni algoritem za permutacijski problem razporejanja toka, ki je bil hkrati zelo enostaven za implementacijo in najbolj učinkovit.

Elemente lokacijskega problema predstavljajo naslednji modeli (Xianyao, 2017):
- Ciljne funkcije skupnih stroškov oskrbne lokacije, ki jih je treba zmanjšati (infrastruktura in stroški prevoza).
- Količine tovora, ki se prenašajo od določenega izvora do določenega cilja na transportni poti, ki povezuje določen izvor z določeno lokacijo cilja.
- Omejitve, ki morajo biti izpolnjene (povpraševanje po lokaciji mora biti izpolnjeno, zmogljivosti izvora ni mogoče preseči in prevoz se izvede po razpoložljivih transportnih poteh).
- Velikost transportnega omrežja (potencialne lokacije in izvorne zmogljivosti, ciljno povpraševanje, stroški infrastrukture in stroški prevoza na tovor).

4.3 PROBLEM NAJKRAJŠE POTI

Med raziskavami transportnih omrežij je eden od osnovnih problemov najkrajša pot transporta. Problem najkrajše poti se pojavi, ko je treba določiti najkrajšo in najcenejšo pot med enim ali več vozlišči v transportni mreži. Razvoj algoritmov za razvoj najkrajše poti je glavno področje optimizacije prometnega omrežja.

Najkrajšo transportno pot si lahko enostavneje predstavljamo tako, da si zamislimo naključno mrežo **G**, ki je sestavljena iz **m** vozlišč in **n** lokov. Stroški ciljev so povezani z vsakim lokom na omrežju **G**. Pot je definirana kot vsota lokov in razdalja poti kot vsota dolžin vsakega loka. Problem najkrajše transportne poti se ukvarja z iskanjem najkrajše razdalje (Bazaraa, Jarvis, & Sherali, 2009).

Obstajajo štiri vrste modelov najkrajše poti (Ahuja, Magnanti, & Orlin, 1988):

- Iskanje najkrajših poti od enega do več različnih vozlišč, ko so pozitivno ločene dolžine.
- Iskanje najkrajše poti od enega do več vozlišč v omrežjih s poljubno dolžino lokov.
- Iskanje najkrajših poti od vseh vozlišč do vseh vozlišč.
- Iskanje različnih vrst omejenih najkrajših poti med vozlišči.

5 MATEMATIČNA METODA OPTIMIZACIJE IN PROGRAMSKO ORODJE

Matematične metode se uporabljajo kot optimizacijsko orodje za težave, ki se pojavijo na transportni mreži. Nekatere možne težave pri transportni mreži so bile navedene v prejšnjem poglavju.

Za uspešno reševanje težav se uporabijo različne matematične metode. Uporaba metod je odvisna od vrste problema, ki ga želimo odpraviti in optimizirati. Za kompleksen problem se pogosto uporabljajo kompleksne metode. V nadaljevanju opisujemo linearno programiranje. Opredeljeni bosta metodi stopalnikov in MODI. Opis bo izveden na osnovi prej opisanih problemov transporta lokacije in transportne poti, kot optimiziran problem transporta.

Z razvojem informacijskih in računalniških tehnologij se pomen optimizacije povečuje. Danes se od programskih orodij pričakuje, da bodo optimalno reševala probleme s transportom in zapletene probleme s transportno mrežo. Obstaja več različnih vrst programskih orodij. V nadaljevanju bomo obravnavali programsko orodje Solver (reševalec), ki vsebuje učinkovite optimizacijske algoritme.

5.1 LINEARNO PROGRAMIRANJE

Linearno programiranje je preprosta tehnika, pri kateri izračunamo optimalno točko. Program določa optimalno (minimalno ali največjo) vrednost linearne funkcije z določenim številom strukturnih spremenljivk x1, x2 … xn, ki so med seboj povezane z omejitvami v obliki linearne enačbe ali neenačbe. Linearno programiranje je danes nepogrešljiva metoda na mnogih področjih. Največkrat se uporablja za optimizacijske probleme, kot so transportni, proizvodni, energetski itd. Uporabljamo ga na osebnem ali na poklicnem področju. Na osebnem ga uporabimo takrat, ko se vozimo od doma v službo in želimo iti po najkrajši možni poti. Na poklicnem, ko imamo projekt, naredimo strategijo, kako bo naša ekipa delovala učinkovito in pravočasno z dostavo (Bazaraa, Jarvis, & Sherali, 2009).

Poraja se vprašanje, ali je linearna predstavitev dostojanstvena za resnični svet. Računanje najkrajše poti ni ravna črta. Do točke (lokacije), do katere je treba priti, je več zavojev, prometnih zastojev, prometnih znakov in ostale omejitve. S preprosto predpostavko se lahko zmanjša zapletenost problema in ustvari rešitev, ki bi morala delovati v večjih primerih.

Linearno programiranje se uporablja za pridobitev optimalne rešitve za problem z danimi omejitvami. Uporablja se za probleme iz resničnega življenja, ki jih oblikujemo v matematični model, in rešuje veliko ekonomskih problemov, ki se nanašajo na tehnične ter tehnološke pogoje, kot so surovine, zaloge, tržne razmere, delovna sila, povpraševanje, uvoz in izvoz.

5.2 LINEARNO PROGRAMIRANJE Z METODO STOPALNIKOV

Pri reševanju naloge s pomočjo metode stopalnikov si pomagamo s tabelami. Izmislimo si, kakšen sistem prevoza, ki bo ustrezal izvoru in ponoru, bomo imeli. V tabeli 3, ki je možna kot prva rešitev, smo razporedili tovor. V prvem stolpcu levo zgoraj se porazdeli največ možno tovora, s tem, da ne presežemo kapacitete izvora in potreb izvorov (Vadnal, b. l.).

IZVORI/PONORI		**DISTRIBUCIJSKA ENOTA**				**IZVOR KAPACITET**
		P1		P2		
DISTRIBUCIJSKI CENTER	I1	**18**	40	**7**	28	**25**
	I2		25	**15**	35	**15**
POTREBE IZVOROV		**18**		**22**		**40**

Tabela 3: Prikaz podatkov za lažje razumevanje metode stopalnikov
(Lastni vir)

Največ tovora smo vstavili v (I1, P1), ki znaša 18. Ostalo smo porazdelili v prazna polja, tako da nismo presegli količine potrebe izvora in izvora kapacitet. Iz (I2, P1) ne moremo dodati nič tovora, saj smo že dosegli količino tovora za potrebe izvorov. V polje (I1, P2) lahko razdelimo tovor tako, da upoštevamo tovor (I1, P1) in prištejemo še 7 enot tovora. Tako upoštevamo, da ne presegamo količine izvora kapacitet. Treba je še dodeliti tovor v (I2, P2). Upoštevati moramo, da smo v tem stolpcu P2 že dodelili nekaj količine tovora. To pomeni, da upoštevamo (I1, P2) in prištejemo toliko količine tovora, da dosežemo količino potrebe izvorov. Tako smo dobili prevozni sistem, ki mu ustrezajo skupni minimalni stroški: $S_{min} = 18 \times 40 + 7 \times 28 + 15 \times 35 + 0 \times\ 25 = 1.441\,€$ je prva možna rešitev naloge, poraja se vprašanje, ali lahko to rešitev izboljšamo. Da bi to preverili, izračunamo vrednost prevoznih stroškov praznega polja. Za računanje spremembe stroškov smo najprej vstavili v izračun prvo prazno polje, nato polje (I1, P1), (I1, P2), (I2, P2) in nazaj do praznega polja (I2, P1). Če izračunamo s številkami, je to $25 - 40 + 28 - 35 =\ -22$. Izraz metoda stopalnikov prihaja od tukaj, ko računamo prazna polja s polji, ki imajo tovor.

Skupne stroške lahko zmanjšamo v nalogi za 22, če porazdelimo 1 enoto tovora v (I2, P1). Treba je upoštevati kapaciteto izvora, da ga ne presežemo. V (I2, P1) je možno dodeliti največ 15 enot tovora. V (I1, P1) bomo dodelili 3 enote tovora, da dosežemo potrebe izvorov. V (I2, P2) ni možno dodeliti tovora, saj smo dosegli kapaciteto izvora, zato smo dodelili še preostali tovor v (I1, P2), da dosežemo kapaciteto izvora.

Pridobljeni podatki so prikazani v tabeli 4. S tem smo dobili drugo možno rešitev, pri kateri skupni stroški znašajo: $S_{min} = 3 \times 40 + 15 \times 25 + 0 \times 35 + 22 \times 28 = 1.111$ €. Na podoben način, kot smo izračunali pri prvi nalogi rešitev, se lahko prepričamo z metodo stopalnikov, ali lahko drugo rešitev izboljšamo. Ponovno izračunamo vrednost prevozov, tako da začnemo pri praznem polju (I2, P2).

IZVORI/PONORI		**DISTRIBUCIJSKA ENOTA**		**IZVOR KAPACITET**
		P1	P2	
DISTRIBUCIJSKI	I1	**3** 40	**22** 28	**25**
CENTER	I2	**15** 25	35	**15**
POTREBE IZVOROV		**18**	**22**	**40**

Tabela 4: Prikaz druge možne rešitve s pomočjo metode stopalnikov
(Lastni vir)

Vrednost praznega polja smo izračunali tako, da smo začeli pri praznem polju (I2, P2) in se premaknili na polje (I2, P1), (I1, P1), (I1, P2) in nazaj do polja (I2, P2). Dobili smo $35 - 25 + 40 - 28 = 22$. Z našo drugo rešitvijo, ki smo jo izračunali s pomočjo metode stopalnikov, ni možno izboljšati rešitev. Naša druga rešitev je optimalna rešitev in tako je naloga rešena.

Najnižji stroški prevoza so s tem potrjeni, če se tovor pripelje iz I1 v P1 in nato iz I1 v P2 ter iz I2 v P1. Stroški takšnega prevoza so 1.111 €.

5.3 LINEARNO PROGRAMIRANJE Z METODO MODI

Metoda MODI je angleškega izvora in pomeni "spremenjena distribucijska metoda". Uporablja se kot optimalna rešitev transportnega problema, ki smo jo dobili iz osnovne rešitve. Pri uporabi metode sta uvedeni novi spremenljivki S_j in V_i. Tako se izračuna relativni strošek in se ugotovi, za koliko se je strošek spremenil (Marić, 2019).

Koraki pri uporabi metode MODI so naslednji (Marić, 2019):

- Vrstice koeficienta i (izvori) označimo z V_i, stolpce koeficienta j (ponori) pa označimo s S_j. V polje, kjer je strošek nastal, označimo razmerje s pomočjo formule: $C_{ij} = S_j + V_i$ (cena prevoza ij je enaka seštevku V_i in S_j). Pogoju V1 določimo vrednost 0.
- Za neuporabna prazna polja, kjer tovor ni razporejen, se računajo relativni stroški. S pomočjo formule ponovno izračunamo možnosti prihrankov pri transportu: $I_{ij} = C_{ij} - V_i - S_j$.
- V prazna polja se porazdeli količina tovora. Polju z največjo negativno vrednostjo se dodeli največ tovora. Ponovno se uporabi prejšnji korak.

- Po ponovni razporeditvi tovora dobimo novo rešitev. Spremenljivki S_j in V_j se preračunata in se naredijo novi izračuni relativnih stroškov. Če so stroški C_{ij} manjši ali enaki nič, je rešitev optimalna.

Predstavili bomo metodo MODI, ki bo v nadaljevanju uporabljena na primeru.

5.4 PROGRAMSKO ORODJE SOLVER

Z uporabo programskega orodja Solver oz. reševalec se rešujejo problemi linearnega programiranja in nelinearne optimizacije do genetskih in evolucijskih algoritmov (orodje je dodatek MS Excel). Program omogoča iskanje optimalne vrednosti za formulo, ki je v eni celici imenovana ciljna celica. Za ciljno celico veljajo omejitve ali omejitve vrednosti drugih celic formule na delovnem listu. Program deluje s skupino celic, ki so imenovane celice spremenljivke določitve in sodelujejo pri izračunu formul v ciljnih in omejitvenih celicah. Program se prilagodi vrednosti v spremenjenih celicah in tako doseže omejitev v omejenih celicah ter proizvede želeni rezultat za ciljno celico. Celice ciljnih, omejitvenih in odločitvenih spremenljivk ter formule, ki se med seboj povezujejo, tvorijo model Solver oz. reševalec. Z reševalcem je možno rešiti težave z do 200 odločitvenimi spremenljivkami, s 100 različnimi omejitvami in 400 preprostimi omejitvami. Končne vrednosti, ki jih reševalec najde, so rešitev za ta model. Namen programa reševalec je reševanje problemov z optimizacijo matematičnega modela z uporabo programa MS Excel (Microsoft, 2021) (Marić, 2019)

V nadaljevanju bo uporaba transportnega primera v izmišljenem podjetju, ki iz treh distribucijskih centrov v Münchnu, Frankfurtu in Dunaju oskrbuje s športno obutvijo štiri manjše distribucijske enote v Stuttgartu, Salzburgu, Ljubljani in Kopru. Treba je bilo določiti dnevni urnik, katere enote se bodo oskrbovala iz katerih distribucijskih centrov, ter preveriti, ali je primer rešljiv. Če je zmogljivost enaka ali večja od problema povpraševanja, je primer rešljiv.

S pomočjo metod stopalnikov in MODI bomo izračunali transportne stroške. Optimalnost rešitve bomo potrdili na primeru izračunov s programskim orodjem reševalec.

6 UPORABA TRANSPORTNEGA PROBLEMA NA PRIMERU

Primer je izmišljena raziskava transportnega podjetja, ki se ukvarja s transportom športne obutve. Distributer iz treh logističnih in distribucijskih centrov oskrbuje manjše distribucijske enote v različnih državah v določenih mestih. Oskrbovanje distribucijskih enot se izvaja na dnevnem nivoju. Prikazani so izračuni za najhitrejšo in najcenejšo izbrano transportno pot. Izbrali smo naslednje lokacije distribucijskih centrov:

- München (Nemčija);
- Frankfurt (Nemčija);
- Dunaj (Avstrija).

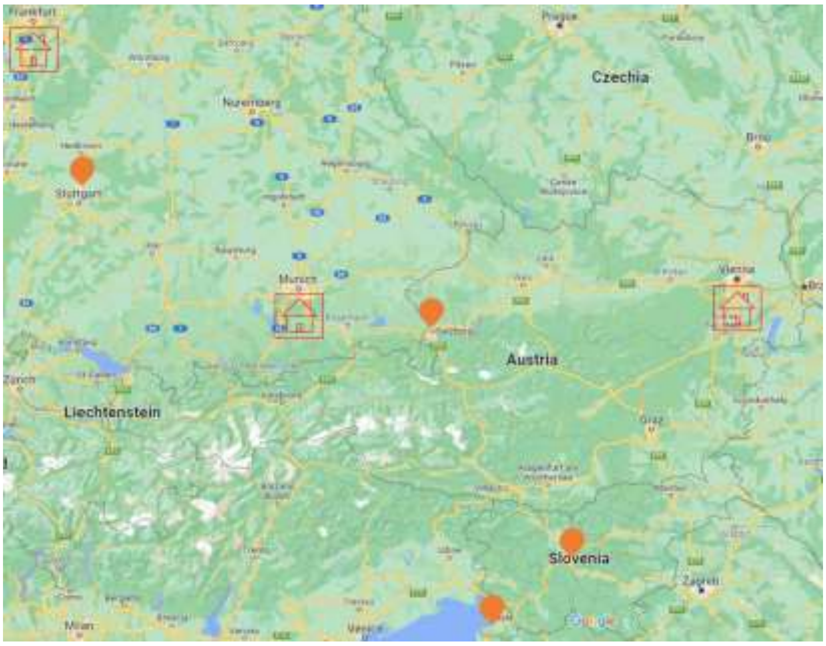
Iz zgoraj omenjenih centrov se izvaja transport v manjše distribucijske enote:

- Stuttgart (Nemčija);
- Salzburg (Avstrija);
- Ljubljana (Slovenija);
- Koper (Slovenija).

Za distribucijo blaga iz distribucijskih centrov v distribucijske enote se uporabljajo usluge prevoza. Povpraševanje po novi sezonski športni obutvi je veliko in ves čas konstantno, saj se ljudje ukvarjajo z različnimi vrstami športa, kar spodbuja nenehno povpraševanje po raznovrstni športni obutvi. Distribucijski centri so v večjih mestih. S teh lokacij se športna obutev transportira v manjše distribucijske enote, ki izbrane trgovske centre oskrbujejo s športno obutvijo.

6.1 NAJHITREJŠE POTI S CENAMI TRANSPORTA NA IZBRANIH LOKACIJAH

Za določitev najhitrejše poti smo uporabili program VIAMICHELIN (VIAMICHELIN, 2022) in uporabili ceno transporta 1,51 € na km. Transportne stroške smo izračunali za distribucijske centre in manjše enote, ki so predstavljeni na sliki 1.



Slika 1: Lokacije distribucijskih centrov (rdeče hiške) in manjše enote (lokacije, označene z oranžno barvo)
Vir: (Google maps, 2022)

6.1.1 DISTRIBUCIJSKI CENTER MÜNCHEN

TRANSPORTNA POT MÜNCHEN–STUTTGART

Najhitrejša transportna pot od Münchna do Stuttgarta je prikazana v tabeli 5 in na sliki 2. Tabela 5 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Stuttgartu. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 220 km pa znašajo 332,20 €.

Razdalja	220	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	332,20	€

Tabela 5: Transportni stroški za transportno pot od Münchna do Stuttgarta
(Lastni vir)

Slika 2: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Stuttgartu
Vir: (VIAMICHELIN, 2022)

TRANSPORTNA POT MÜNCHEN–SALZBURG

Najhitrejša transportna pot od Münchna do Salzburga je prikazana v tabeli 6 in na sliki 3. Tabela 6 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Salzburgu. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 143 km pa znašajo 215,93 €.

Slika 3: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Salzburgu
Vir: (VIAMICHELIN, 2022)

Razdalja	143	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	215,93	€

Tabela 6: Transportni stroški za transportno pot od Münchna do Salzburga
(Lastni vir)

TRANSPORTNA POT MÜNCHEN–LJUBLJANA

Najhitrejša transportna pot od Münchna do Ljubljane je prikazana v tabeli 7 in na sliki 4. Tabela 7 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Ljubljani. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 410 km pa znašajo 619,10 €.

Razdalja	410	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	619,10	€

Tabela 7: Transportni stroški za transportno pot od Münchna do Ljubljane
Vir: (Lastni vir)

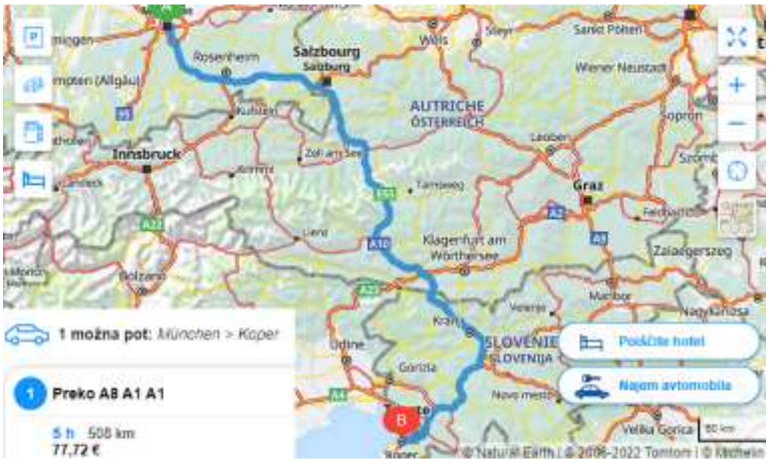
Slika 4: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Ljubljani
Vir: (VIAMICHELIN, 2022)

TRANSPORTNA POT MÜNCHEN–KOPER

Najhitrejša transportna pot od Münchna do Kopra je prikazana v tabeli 8 in na sliki 5. Tabela 8 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Kopru. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 508 km pa znašajo 767,08 €.

Razdalja	508	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	767,08	€

Tabela 8: Transportni stroški za transportno pot od Münchna do Kopra
(Lastni vir)



Slika 5: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Münchnu in manjšo enoto v Kopru
(VIAMICHELIN, 2022)

DISTRIBUCIJSKI CENTER FRANKFURT

TRANSPORTNA POT FRANKFURT–STUTTGART

Najhitrejša transportna pot od Frankfurta do Stuttgarta je prikazana v tabeli 9 in na sliki 6. Tabela 9 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Stuttgartu. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 204 km pa znašajo 308,04 €.

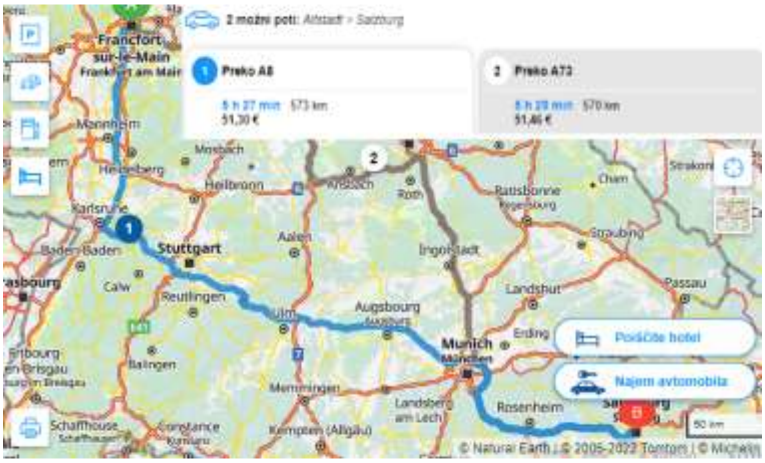
Razdalja	204	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	308,04	€

Tabela 9: Transportni stroški za transportno pot od Frankfurta do Stuttgarta
(Lastni vir)

Slika 6: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Stuttgartu
Vir: (VIAMICHELIN, 2022)

TRANSPORTNA POT FRANKFURT–SALZBURG

Program VIAMICHELIN je izbral dve poti. Najhitrejša transportna pot od Frankfurta do Salzburga traja 5 ur in 27 minut, zato smo izbrali prvo najhitrejšo pot, ki je prikazana na sliki 7. Tabela 10 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Salzburgu. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 573 km pa znašajo 865,23 €.



Slika 7: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Salzburgu
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

Razdalja	573	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	865,23	€

Tabela 10: Transportni stroški za transportno pot od Frankfurta do Salzburga
(Lastni vir)

TRANSPORTNA POT FRANKFURT–LJUBLJANA

Najhitrejša transportna pot od Frankfurta do Ljubljane je prikazana v tabeli 11 in na sliki 8. Tabela 11 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Ljubljani. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 839 km pa znašajo 1.266,89 €.

Razdalja	839	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	1.266,89	€

Tabela 11: Transportni stroški za transportno pot od Frankfurta do Ljubljane
(Lastni vir)

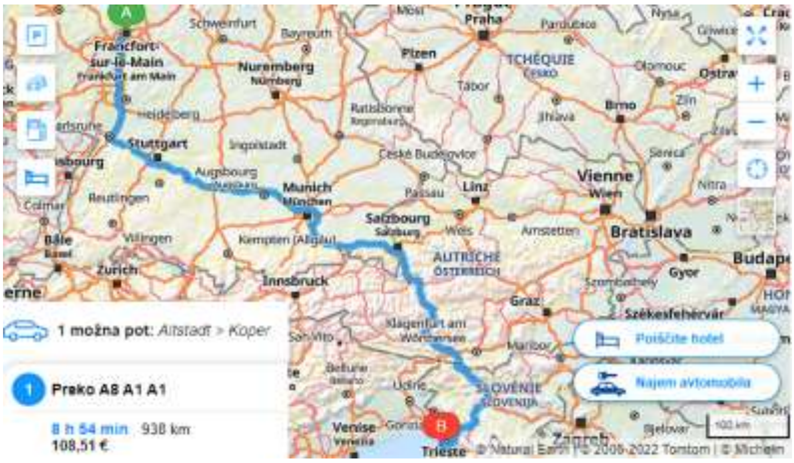
Slika 8: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Ljubljani
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

TRANSPORTNA POT FRANKFURT–KOPER

Najhitrejša transportna pot od Frankfurta do Kopra je prikazana v tabeli 12 in na sliki 9. Tabela 12 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Kopru. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 938 km pa znašajo 1.416,38 €.

Razdalja	938	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	1.416,38	€

Tabela 12: Transportni stroški za transportno pot od Frankfurta do Kopra
(Lastni vir)



Slika 9: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom v Frankfurtu in manjšo enoto v Kopru
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

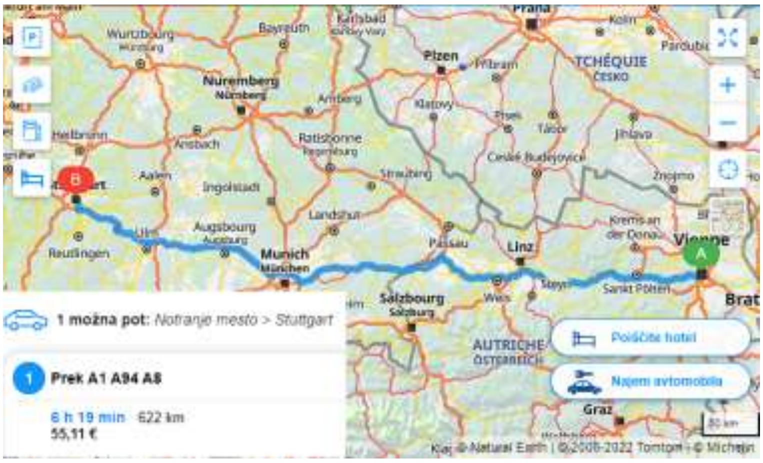
6.1.3 DISTRIBUCIJSKI CENTER DUNAJ

TRANSPORTNA POT DUNAJ–STUTTGART

Najhitrejša transportna pot od Dunaja do Stuttgarta je prikazana v tabeli 13 in na sliki 10. Tabela 13 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Stuttgartu. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 622 km pa znašajo 939,22 €.

Razdalja	622	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	939,22	€

Tabela 13: Transportni stroški za transportno pot od Dunaja do Stuttgarta
(Lastni vir)



Slika 10: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Stuttgartu
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

TRANSPORTNA POT DUNAJ–SALZBURG

Najhitrejša transportna pot od Dunaja do Salzburga je prikazana v tabeli 14 in na sliki 11. Tabela 14 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Salzburgu. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 298 km pa znašajo 449,98 €.

Slika 11: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Salzburgu
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

Razdalja	298	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	449,98	€

Tabela 14: Transportni stroški za transportno pot od Dunaja do Salzburga
(Lastni vir)

TRANSPORTNA POT DUNAJ–LJUBLJANA

Najhitrejša transportna pot od Dunaja do Ljubljane je prikazana v tabeli 15 in na sliki 12. Tabela 15 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Ljubljani. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 377 km pa znašajo 569,27 €.

Razdalja	377	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	569,27	€

Tabela 15: Transportni stroški za transportno pot od Dunaja do Ljubljane
(Lastni vir)

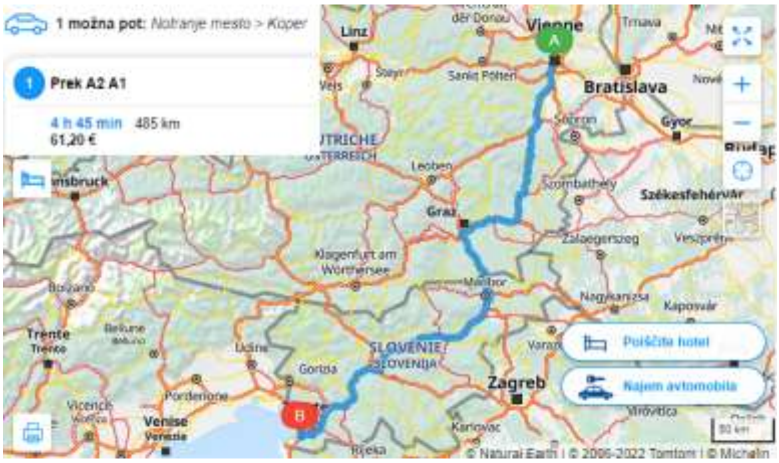
Slika 12: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Ljubljani
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

TRANSPORTNA POT DUNAJ–KOPER

Najhitrejša transportna pot od Dunaja do Kopra je prikazana v tabeli 16 in na sliki 13. Tabela 16 prikazuje stroške transportne poti med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Kopru. Zaračunana vrednost na km znaša 1,51 €. Transportni stroški za najkrajšo razdaljo 485 km pa znašajo 732,35 €.

Razdalja	485	km
Vrednost za km	1,51	€
Skupni stroški transporta	732,35	€

Tabela 16: Transportni stroški za transportno pot od Dunaja do Kopra
(Lastni vir)



Slika 13: Najhitrejša transportna pot med distribucijskim centrom na Dunaju in manjšo enoto v Kopru
(Vir: VIAMICHELIN, 2022)

6.2 RELACIJA IN STROŠKI

Sliki 14 in 15 prikazujeta podatke za realizacijo vseh transportnih povezav med distribucijskimi centri in enotami. Slika 14 prikazuje podatke za dolžino transportne poti v km, slika 15 pa vrednosti skupnih stroškov transporta v €. Skupni strošek transporta smo izračunali tako, da smo s pomočjo spletne strani VIAMICHELIN določili razdaljo med distribucijskim centrom in distribucijsko enoto. Najhitrejša pot je osnovni podatek pri izračunu transportnega stroška. Pri transportnem strošku smo upoštevali vrednost 1,51 € na km. Kot omenjeno, že v predhodni vsebini smo za porabo polpriklopnika uporabili mešano vožnjo (mestna in avtocestna vožnja).

DISTRIBUCIJSKI CENTER / MANJŠE ENOTE	STUTTGART	SALZBURG	LJUBLJANA	KOPER
MUNCHEN	220 km	143 km	410 km	508 km
FRANKFURT	204 km	573 km	839 km	938 km
DUNAJ	622 km	298 km	377 km	485 km

Slika 14: Podatki realizacije za dolžino transportnih poti v km
(Lastni vir)

DISTRIBUCIJSKI CENTER / MANJŠE ENOTE	STUTTGART	SALZBURG	LJUBLJANA	KOPER
MUNCHEN	332,20 €	215,93 €	619,10 €	767,08 €
FRANKFURT	308,04 €	865,23 €	1.266,89 €	1.416,38 €
DUNAJ	939,22 €	449,98 €	569,27 €	732,35 €

Slika 15: Podatki realizacije za stroške transporta v €
(Lastni vir)

6.3 IZRAČUN REŠITVE OSKRBOVANJA Z NAJNIŽJIMI TRANSPORTNIMI STROŠKI

Izračunane stroške transportov za vse izbrane poti smo skupaj s podatki o kapacitetah posameznih izvorov (distribucijskih centrov) in ponorov (manjših enot) prenesli v matriko. Za rešitev optimalnega izračuna oskrbovanja smo stroške transportov v € matematično zaokrožili navzgor. V matriki smo uporabili metodo stopalnikov in metodo MODI. Zadnja matrika prikazuje izračun, ki kaže optimalno porazdelitev tovora in prinaša najmanjše stroške transporta.

Ostali pomembni podatki za prikaz rešitev v nadaljevanju vsebine:

- Za dnevni razpored transporta, ki vključuje postavljene omejitve z manjšimi stroški transporta, smo dobili optimalno rešitev z matematičnimi izračuni, programom Ms Excel in programskim orodjem Solver.
- Distribucijski center v Münchnu oskrbuje manjše enote z naslednjimi količinami palet športne obutve: Stuttgart (82 palet), Salzburg (39 palet), Ljubljana (95 palet) in Koper (49 palet).
- Distribucijski center v Frankfurtu oskrbuje manjše enote z naslednjimi količinami palet športne obutve: Stuttgart (82 palet), Salzburg (39 palet), Ljubljana (95 palet) in Koper (49 palet).
- Distribucijski center na Dunaju oskrbuje manjše enote z naslednjimi količinami palet športne obutve: Stuttgart (82 palet), Salzburg (39 palet), Ljubljana (95 palet) in Koper (49 palet).

6.3.1 PRVA REŠITEV ZA PORAZDELITEV TOVORA Z METODO STOPALNIKOV

Skupna količina se dnevno transportira iz distribucijskega centra v manjše enote. Dnevna kapaciteta izvorov in potreb je 265 palet.

Podatki za prvo rešitev so prikazani na sliki 16. Uporabili smo metodo stopalnikov. Izvori I1 (München), I2 (Frankfurt) in I3 (Dunaj) imajo proizvodno kapaciteto 120, 80 in 65 enot v določenem obdobju. Ponori P1 (Stuttgart), P2 (Salzburg), P3 (Ljubljana) in P4 (Koper) pa potrebujejo 82, 39, 95 in 49 enot v enakem časovnem obdobju.

	P1	P2	P3	P4	
I1	333 82	216 38	620 3	768 -12	120
I2	309 -674	866 1	1267 79	1417 -13	80
I3	940 654	450 281	570 16	733 49	65
	82	39	95	49	265 265

Slika 16: Podatki za prvo rešitev po metodi stopalnikov
(Lastni vir)

Vpisi v tabelo, prikazani na sliki 16, so izvedeni po pravilu – v zgornje levo polje čim večja mogoča količina transportnega tovora (Marič, 2011).

Z metodo stopalnikov smo izboljšali rešitev, tako da smo ocenili nezasedene relacije. Najprej smo ocenili nezasedeno relacijo, tako da smo vpisali 1 enoto tovora (da nismo prekršili pogojev količine prevoženega tovora na drugih relacijah). Pogojev nismo prekršili, če smo na relaciji vpisali 1 enoto in na drugi relaciji dodali 1 enoto ter na drugih dveh relacij odvzeli po 1 enoto. Na nezasedene relacije smo v ustrezno polje vpisali izračun, ki je viden v levem spodnjem kotu. Pri tem so se skupni transportni stroški zmanjšali (Marič, 2011).

Povzetek skupnih transportnih stroškov na relacijah:

1. $\mathrm{I1P3} = 620 - 1267 + 866 - 216 = 3$

2. $\mathrm{I1P4} = 768 - 733 + 570 - 1267 + 866 - 216 = -12$

3. $\mathrm{I2P1} = 309 - 333 + 216 - 866 = -674$

4. $\mathrm{I2P4} = 1417 - 1267 + 570 - 733 = -13$

5. $\mathrm{I3P1} = 940 - 333 + 216 - 866 + 1267 - 570 = 654$

6. $\mathrm{I3P2} = 450 - 866 - 1267 - 570 = 281$

Kriterialno funkcijo minimalnih stroškov transporta smo izračunali tako, da smo v stolpcu D, F, H in J transportne stroške množili s porazdelitvijo tovora. Polje v stolpcu pomnožimo in seštejemo z drugim poljem.

$$\begin{aligned}\mathrm{S}_{\min} = {} & 333 \times 82 + 216 \times 38 + 620 \times 0 + 768 \times 0 + 309 \times 0 + 866 \times 1 + 1267 \times 79 \\ & + 1417 \times 0 + 940 \times 0 + 450 \times 0 + 570 \times 16 + 733 \times 49 = \mathbf{181.510}\ €\end{aligned}$$

Skupni dnevni transportni strošek znaša 181.510 €.

Polje distribucijskega centra Frankfurt na transportni poti do manjše enote v Stuttgartu na sliki 16 (I2, P1) ima največjo negativno vrednost. Največja negativna vrednost pomeni, da je cilj dati čim več tovora na to relacijo, s tem pa bomo zmanjšali skupne stroške transporta.

Za transportno podjetje želimo poiskati optimalne transportne stroške, zato smo v naslednjem poglavju izračunali drugo optimalno možnost. Polje (I2, P1) ima največjo negativno vrednost, zato mu bomo dodelili največ tovora.

6.3.2 DRUGA REŠITEV ZA PORAZDELITEV TOVORA Z METODO STOPALNIKOV

Druga rešitev za porazdelitev tovora je predstavljena na sliki 17. Po metodi stopalnikov smo še enkrat ocenili nezasedene relacije. Polje (I2, P1) je v prejšnjem izračunu imelo največjo negativno vrednost, zato mu dodelimo največ tovora. V tem primeru smo spremenili porazdelitev tovora, tako da smo v polje (I2, P1) dodelili največ tovora. V ostala polja smo porazdelili tovor tako, da nismo presegli kapacitete in skupne potrebe po tovoru. V preostala polja (I1, P3), (I3, P3) in (I3, P4) porazdelitev tovora ni bila potrebna, saj smo največjo negativno vrednost dobili v polju (I2, P1). Ponovno smo izračunali, katero polje je imelo največjo negativno vrednost, ter v naslednji možni rešitvi dodelili največjo enoto tovora.

	P1	P2	P3	P4	
I1	333 **81**	216 **39**	620 -671	768 -686	**120**
I2	309 **1**	866 674	1267 **79**	1417 -13	**80**
I3	940 1.328	450 955	570 **16**	733 **49**	**65**
	82	**39**	**95**	**49**	265 265

Slika 17: Podatki za drugo rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode stopalnikov
(Lastni vir)

Povzetek skupnih transportnih stroškov na relacijah:

1. $\mathrm{I1P3} = 620 - 333 + 309 - 1267 = -671$

2. $\mathrm{I1P4} = 768 - 733 + 570 - 1257 + 309 - 333 = -686$

3. $\mathrm{I2P2} = 866 - 216 + 333 - 309 = 674$

4. $\mathrm{I2P4} = 1417 - 733 + 570 - 1267 = -13$

5. $\mathrm{I3P1} = 940 - 309 + 1267 - 570 = 1328$

6. $\mathrm{I3P2} = 450 - 216 + 333 - 309 + 1267 - 570 = 955$

Za drugo rešitev porazdelitve tovora ponovno pomnožimo transportne stroške, ki so na sliki 17, na označenih poljih.

$$S_{\min} = 333 \times 81 + 216 \times 39 + 620 \times 0 + 768 \times 0 + 309 \times 1 + 866 \times 0 + 1267 \times 79 + 1417 \times 0 + 940 \times 0 + 450 \times 0 + 570 \times 16 + 733 \times 49 = \mathbf{180.836} \text{ €}$$

Skupni dnevni transportni strošek druge rešitve je 180.836 €.

Izračun je pokazal, da ima polje, ki označuje transport iz distribucijskega centra v Münchnu v manjšo enoto v Kopru (I1, P4), negativno vrednost. V naslednjem poglavju smo dodelili največjo enoto tovora v polje, ki označuje transportno pot od distribucijskega centra Münchnu v manjšo enoto v Kopru. To pomeni, da imamo na tej transportni poti najmanjše transportne stroške pri dani razporeditvi tovora. Na tem transportu še moramo dodati dodatno količino tovora.

6.3.3 TRETJA REŠITEV ZA PORAZDELITEV TOVORA Z METODO STOPALNIKOV

Za iskanje tretje rešitve smo ponovno porazdelili tovor na vsa polja (slika 18), z začetkom v polju (I1, P4), ker smo imeli v drugi rešitvi negativno vrednost. Ostale vrednosti smo porazdelili tako, da se je število kapacitet ujemalo s številom potrebe izvorov.

	P1	P2	P3	P4	
I1	333 **32**	216 **39**	620 -671	768 **49**	**120**
I2	309 **50**	866 674	1267 **30**	1417 673	**80**
I3	940 1.328	450 955	570 **65**	733 686	**65**
	82	**39**	**95**	**49**	265 265

Slika 18: Podatki za tretjo rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode stopalnikov
(Lastni vir)

Povzetek skupnih transportnih stroškov na relacijah pri porazdelitvi tovora v ustrezna polja:

1. $\text{I1P3} = 620 - 333 + 309 - 1267 = -671$

2. $\text{I2P2} = 866 - 216 + 333 - 309 = 674$

3. $\text{I2P4} = 1417 - 768 + 333 - 309 = 673$

4. $\mathrm{I3P1} = 940 - 570 + 1267 - 309 = 1328$

5. $\mathrm{I3P2} = 450 - 570 + 1267 - 309 + 309 - 333 + 216 = 955$

6. $\mathrm{I3P4} = 733 - 768 + 333 - 309 + 1267 - 570 = 686$

V tretjem poskusu iskanja optimalne rešitve smo dobili v polju (I1, P3) negativno vrednost. Za izračun transportnega stroška smo medsebojno pomnožili porazdelitve tovora. Račun je bil izveden na osnovi podatkov, prikazanih na sliki 18.

$$\begin{aligned} S_{\min} = {} & 333 \times 32 + 216 \times 39 + 620 \times 0 + 768 \times 49 + 309 \times 50 + 866 \times 0 + \\ & 1267 \times 30 \ + 1417 \times 0 + 940 \times 0 + 450 \times 0 + 570 \times 65 + 733 \times 0 = \\ & \mathbf{139.053} \text{ €} \end{aligned}$$

Minimalni stroški transporta po izračunu v tretji rešitvi znašajo 139.053 €.

6.3.4 ČETRTA REŠITEV ZA PORAZDELITEV TOVORA Z METODO STOPALNIKOV

Po metodi stopalnikov smo ponovno ocenili nezasedene relacije. Polje (I1, P3) je v prejšnjem izračunu imelo največjo negativno vrednost, zato smo mu dodelili največ tovora. V poljih (I1, P1), (I2, P1) in (I2, P3) smo spremenili dodelitve tovora tako, da nismo presegli kapacitete in skupne potrebe po tovoru. Ponovno smo izračunali prazna polja na sliki 19.

	P1	P2	P3	P4	
I1	333 **2**	216 **39**	620 **30**	768 **49**	**120**
I2	309 **80**	866 674	1267 671	1417 673	**80**
I3	940 657	450 284	570 **65**	733 15	**65**
	82	**39**	**95**	**49**	265 265

Slika 19: Podatki za četrto rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode stopalnikov
Vir: (Lastni vir)

Povzetek skupnih transportnih stroškov na relacijah pri porazdelitvi tovora v ustrezna polja:

1. $\mathrm{I2P2} = 866 - 216 + 333 - 309 = 674$
2. $\mathrm{I2P3} = 1267 - 620 + 333 - 309 = 671$

3. $\mathrm{I2P4} = 1417 - 768 + 333 - 309 = 673$

4. $\mathrm{I3P1} = 940 - 570 + 620 - 333 = 657$

5. $\mathrm{I3P2} = 450 - 570 + 620 - 216 = 284$

6. $\mathrm{I3P4} = 733 - 768 + 620 - 570 = 15$

S četrto možno porazdelitvijo tovora smo dobili optimalno rešitev, saj so rezultati vseh izračunov relacij pozitivni. Za izračun transportnega stroška smo ponovno medsebojno pomnožili porazdelitve tovora. Račun je bil izveden na osnovi podatkov, prikazanih na sliki 19.

$$\mathrm{S_{min}} = 333 \times 2 + 216 \times 39 + 620 \times 30 + 768 \times 49 + 309 \times 80 + 866 \times 0 + 1267 \times 0 + 1417 \times 0 + 940 \times 0 + 450 \times 0 + 570 \times 65 + 733 \times 0 = \mathbf{127.092}\ €$$

6.3.5 REŠEVANJE Z METODO MODI – PRVA REŠITEV PORAZDELITVE TOVORA

Z metodo MODI bomo s prikazom uporabe in izračune najmanjših stroškov transporta uporabili enake podatke kot pri metodi stopalnikov. Postopek reševanja je enak kot pri metodi stopalnikov.

Pristop reševanja z metodo MODI je bil naslednji:

- Na sliki 20 smo označili spodnjo vrstico z novo oznako Sj.
- Zadnji stolpec na sliki 20 smo označili z oznako Vi. Izračun je bil izveden po naslednji formuli: $C_{ij} = V_i + S_{ij}$.

Transportni stroški po metodi MODI (V – vrstična ocena, S – stolpna ocena, C – transportna cena):

1. $\mathrm{S1} = 333 - 0 = 333$

2. $S2 = 216 - 0 = 216$

3. $\mathrm{V2} = 866 - 216 = 650$

4. $S3 = 1267 - 650 = 617$

5. $\mathrm{V3} = 570 - 617 = -47$

6. $S4 = 733 - (-47) = 780$

	P1	P2	P3	P4		
I1	333 **82**	216 **38**	620 3	768 -12	**120**	**V1=** 0
I2	309 -674	866 **1**	1267 **79**	1417 -13	**80**	**V2=** 650
I3	940 654	450 281	570 **16**	733 **49**	**65**	**V3=** -47
	82	**39**	**95**	**49**	265 265	
	S1= **333**	**S2=** **216**	**S3=** **617**	**S4=** **780**		

Slika 20: Podatki za prvo rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode MODI
Vir: (Lastni vir)

V naslednjem koraku smo rezultate praznih polj, ki smo jih izračunali s pomočjo metode stopalnikov, preverili z metodo MODI (ali smo izračunali pravilno transportne stroške). Cena prevoza I_{ij} je enaka seštevku V_i in S_j. Prazna polja smo izračunali s pomočjo naslednje formule (Marić, 2019): $I_{ij} = C_{ij} - V_i - S_j$.

Izračun praznih polj:

1. $I13 = C13 - V1 - S3 = 620 - 0 - 617 = 3$

2. $I14 = C14 - V1 - S4 = 768 - 0 - 780 = -12$

3. $I22 = C22 - V2 - S1 = 309 - 650 - 333 = -674$

4. $I24 = C24 - V2 - S4 = 1417 - 650 - 780 = -13$

5. $I31 = C31 - V3 - S1 = 940 - (-47) - 333 = 654$

6. $I32 = C32 - V3 - S2 = 450 - (-47) - 216 = 281$

6.3.6 REŠEVANJE Z METODO MODI – DRUGA REŠITEV PORAZDELITVE TOVORA

Pristop reševanja z metodo MODI je bil naslednji:

- Spodnjo vrstico na sliki 21 smo označili z novo oznako S_j.
- Zadnji stolpec na sliki 21 smo označili z oznako V_i.

- Izračun je bil izveden po naslednji formuli: $C_{ij} = V_i + S_{ij}$.

	P1	P2	P3	P4		
I1	333 81	216 39	620 -671	768 -686	120	V1= 0
I2	309 1	866 674	1267 79	1417 -13	80	V2= -24
I3	940 1.328	450 955	570 16	733 49	65	V3= -721
	82	39	95	49	265 265	
	S1= 333	S2= 216	S3= 1291	S4= 1454		

Slika 21: Podatki za drugo rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode MODI
Vir: (Lastni vir)

Transportni stroški po metodi MODI:

1. $S1 = 333 - 0 = 333$
2. $V2 = 309 - 333 = -24$
3. $S2 = 216 - 0 = 216$
4. $S3 = 1267 - (-24) = 1291$
5. $V3 = 570 - 1291 = -721$
6. $S4 = 733 - (-721) = 1454$

Vrednost praznih polj, ki smo jih izračunali s pomočjo metode stopalnikov, smo ponovno preverili in izračunali s pomočjo metode MODI. Izračun je bil izveden po enaki formuli kot v primeru prve rešitve.

Izračun praznih polj:

1. $I13 = C13 - V1 - S3 = 620 - 0 - 1291 = -671$
2. $I14 = C14 - V1 - S4 = 768 - 0 - 1454 = -686$
3. $I22 = C22 - V2 - S2 = 866 - (-24) - 216 = 674$
4. $I24 = C24 - V2 - S4 = 1417 - (-24) - 1454 = -13$

5. $I31 = C31 - V3 - S1 = 940 - (-721) - 333 = 1328$

6. $I32 = C32 - V3 - S2 = 450 - (-721) - 216 = 955$

6.3.7 REŠEVANJE Z METODO MODI – TRETJA REŠITEV PORAZDELITVE TOVORA

	P1	P2	P3	P4		
I1	333 32	216 39	620 -671	768 49	120	V1= 0
I2	309 50	866 674	1267 30	1417 673	80	V2= -24
I3	940 1.328	450 955	570 65	733 686	65	V3= -721
	82	39	95	49	265 265	
	S1= 333	S2= 216	S3= 1291	S4= 768		

Slika 22: Podatki za tretjo rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode MODI
Vir: (Lastni vir)

Pristop reševanja z metodo MODI je bil naslednji:
- Spodnjo vrstico na sliki 22 smo označili z novo oznako S_j.
- Zadnji stolpec na sliki 22 smo označili z oznako V_i.
- Izračun je bil izveden po naslednji formuli: $C_{ij} = V_i + S_{ij}$

Transportni stroški po metodi MODI:
1. $S1 = 333 - 0 = 333$

2. $V2 = 309 - 333 = -24$

3. $S2 = 216 - 0 = 216$

4. $S3 = 1267 - (-24) = 1291$

5. $V3 = 570 - 1291 = -721$

6. $S4 = 768 - 0 = 768$

Tudi v tem primeru smo vrednost praznih polj izračunali s pomočjo metode stopalnikov in s pomočjo metode MODI. Izračun je bil izveden po enaki formuli kot v primeru prve rešitve.

Izračun praznih polj:

1. $\mathrm{I13} = \mathrm{C13} - \mathrm{V1} - \mathrm{S3} = 620 - 0 - 1291 = -671$

2. $\mathrm{I22} = \mathrm{C22} - \mathrm{V2} - \mathrm{S2} = 866 - (-24) - 216 = 674$

3. $\mathrm{I24} = \mathrm{C24} - \mathrm{V2} - \mathrm{S4} = 1417 - (-24) - 768 = 673$

4. $\mathrm{I31} = \mathrm{C31} - \mathrm{V3} - \mathrm{S1} = 940 - (-721) - 333 = 1328$

5. $\mathrm{I32} = \mathrm{C32} - \mathrm{V3} - \mathrm{S2} = 450 - (-721) - 216 = 955$

6. $\mathrm{I33} = \mathrm{C33} - \mathrm{V3} - \mathrm{S4} = 733 - (-721) - 768 = 686$

6.3.8 REŠEVANJE Z METODO MODI – ČETRTA REŠITEV PORAZDELITVE TOVORA

Pristop reševanja z metodo MODI je bil naslednji:

- Spodnjo vrstico na sliki 23 smo označili z novo oznako S_j.
- Zadnji stolpec na sliki 23 smo označili z oznako V_i.
- Izračun je bil izveden po naslednji formuli: $C_{ij} = V_i + S_{ij}$

	P1	P2	P3	P4		
I1	333 2	216 39	620 30	768 49	120	V1= 0
I2	309 80	866 674	1267 671	1417 673	80	V2= -24
I3	940 657	450 284	570 65	733 15	65	V3= -50
	82	39	95	49	265 265	
	S1= 333	S2= 216	S3= 620	S4= 768		

Slika 23: Podatki za četrto rešitev porazdelitve tovora s pomočjo metode MODI

Vir: (Lastni vir)

Transportni stroški po metodi MODI:

1. $\mathrm{S1} = 333 - 0 = 333$

2. $V2 = 309 - 333 = -24$

3. $S2 = 216 - 0 = 216$

4. $S3 = 620 - 0 = 620$

5. $V3 = 570 - 620 = -50$

6. $S4 = 768 - 0 = 768$

Vrednost praznih polj smo izračunali s pomočjo metode stopalnikov in s pomočjo metode MODI.

Izračun praznih polj:

1. $I22 = C22 - V2 - S2 = 866 - (-24) - 216 = 674$

2. $I23 = C23 - V2 - S3 = 1267 - (-24) - 620 = 671$

3. $I24 = C24 - V2 - S4 = 1417 - (-24) - 768 = 673$

4. $I31 = C31 - V3 - S1 = 940 - (-50) - 333 = 657$

5. $I32 = C32 - V3 - S2 = 450 - (-50) - 216 = 284$

6. $I34 = C34 - V3 - S4 = 733 - (-50) - 768 = 15$

6.3.9 POVZETEK REŠITEV ZA PORAZDELITEV TOVORA

V vseh primerih rešitev smo računali minimalne stroške izmišljenega transportnega podjetja, ki se ukvarja z distribucijo športne obutve. V primeru obeh metod smo optimalne stroške izračunali v četrtem koraku. Transportnemu podjetju smo s pomočjo izračuna transportnih stroškov prihranili 54.418 €.

V prvem primeru smo porazdelili tovor na določena polja, da smo zasedli kapaciteto in potrebo po tovoru. Izračunali smo prazna polja transportnih stroškov. Ugotovili smo, da imamo na transportni poti med distribucijskim centrom Frankfurt in manjšo enoto Stuttgart največjo razliko transportnih stroškov. Na tej transportni poti smo v naslednjem koraku dodali največjo količino tovora.

V drugem primeru smo dodelili največjo možno količino tovora na polje, ki je imelo največjo razliko transportnih stroškov. Ostale vrednosti smo porazdelili tako, da nismo presegli kapacitete in potrebe izvorov. Ponovno smo izračunali prazna polja transportnih stroškov. Tokrat smo ugotovili, da imamo na tovorni poti iz distribucijskega centra München v manjšo enoto Koper negativni predznak razlike stroškov. V tretjem koraku smo na tej transportni poti dodelili največjo možno enoto tovora.

V tretjem primeru smo v polje dodelili največje število tovora, ki smo ga dobili v drugem koraku. Vse razlike transportnih stroškov smo računali s praznimi polji in preverili, ali je bil tretji korak optimalen za transportne stroške. Ponovno smo ugotovili, da imamo na tovorni poti iz distribucijskega centra München v manjšo enoto Ljubljana negativni predznak. Tako smo v četrtem koraku na tej transportni poti dodelili največjo možno enoto tovora.

V četrtem koraku so rezultati pokazali, da v vseh praznih poljih ni nobenega negativnega predznaka. Optimalno rešitev smo torej dobili v četrtem koraku.

7 POTRDITEV REZULTATOV Z UPORABO PROGRAMSKEGA ORODJA SOLVER

Solver oz. reševalec nam omogoča iskanje optimalne vrednosti ciljne celice, ki avtomatsko spremeni vrednost v celicah, ki so uporabljene za izračun ciljne celice. Uporabljajo se algoritmi za linearno programiranje in nelinearno optimiranje.

Za iskanje najboljše rešitve z omenjenim programom smo morali oblikovati model, ki predstavlja povezave med spremenljivkami, in določiti osnovne elemente. Naši podatki so v Excelu tvorili zapis, kot je prikazan na sliki 24. Zapisani so v Excelu za identifikacijo celic, ki ustrezajo vsaki odločitveni spremenljivki, kot je prikazano na sliki (Chopra & Meindl, 2012).

	A	B	C	D	E	F	G
1	**Problem prevoza**						
2	Transportni stroški prevoza od distribucijskega centra do manjših enot.						
6			*Količina blaga, ki se prenese iz tovarne v skladišče (na presečišču):*				
7	*Tovarne:*	*Vsota*	*Ponor 1*	*Ponor 2*	*Ponor 3*	*Ponor 4*	
8	Izvir 1	0	0	0	0	0	
9	Izvir 2	0	0	0	0	0	
10	Izvir 3	0	0	0	0	0	
12	Vsota:		0	0	0	0	
14	*Povpraševanje skladišč -->*		82	39	95	49	
15	*Tovarne:*	*Zaloga*	*Stroški prevoza od tovarne do skladišča (na presečišču):*				
16	Izvir 1	120	333,00	216,00	620,00	768,00	
17	Izvir 2	80	309,00	866,00	1267,00	1417,00	
18	Izvir 3	65	940,00	450,00	570,00	733,00	
20	*Prevoz:*	**0,00**	0	0	0	0	

Slika 24: Prikaz zaloge, povpraševanja in stroškov prevoza
Vir: (Marić, 2011; Microsoft, 2021)

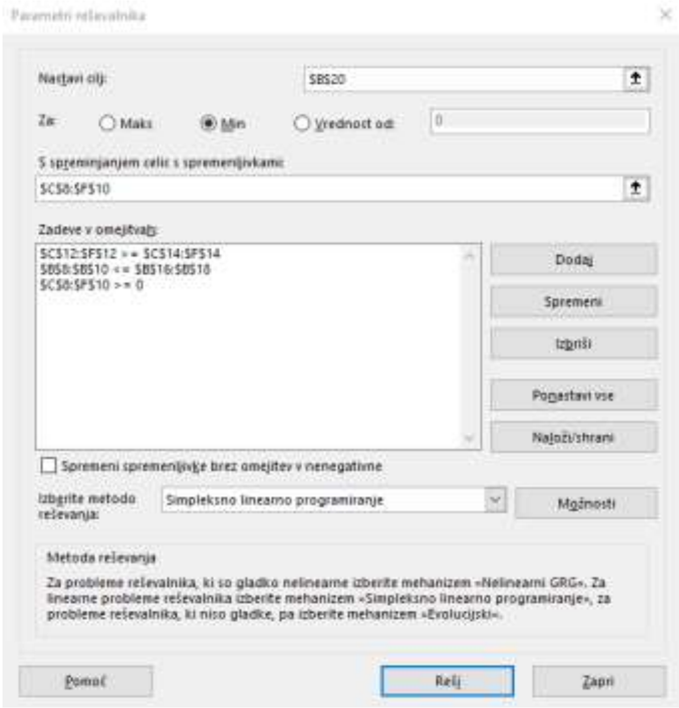
Celice na sliki 24, od C8 do F10, ki so označene z zelenim okvirjem, ustrezajo odločitvenim spremenljivkam in določijo količino tovora iz distribucijskega centra v distribucijsko enoto. Na začetku procesa so vse odločitvene spremenljivke nastavljene na 0.

Omejitev je v celicah od C14 do F14 in pove nam, kakšno je povpraševanje po tovoru. Celice od B16 do B18 prikazujejo zalogo tovora in imajo enako kot prejšnje omejitev. V preostale celice, označene od C16 do F18, vpišemo stroške prevoza od distribucijskega centra do distribucijske enote.

Ciljna celica je B20 (rdeče obarvana). V ciljni celici bo program izračunal optimalno rešitev transportnega problema.

7.1 POSTOPEK DELA V PROGRAMU SOLVER OZ. REŠEVALEC

Za prikaz okna za vnos podatkov izberemo ikono Solver oz. reševalec. Parametri v prikazanem oknu na sliki 25 so namenjeni opisu problema v Excelu.



Slika 25: Okno s parametri Solverja oz. reševalca
Vir: (Microsoft, 2021)

Podatke smo vpisovali zaporedno glede na pozicije, ki so bile prikazane v pojavnem oknu:

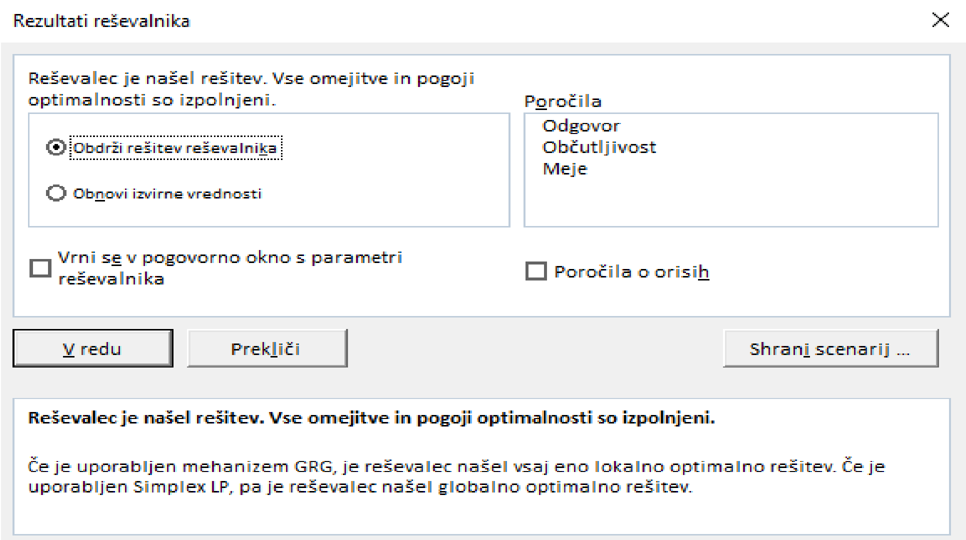
1. "Nastavi cilj": v našem primeru B20.
2. Označili smo možnost "Min", ker smo iskali minimalne stroške.
3. V polje "S spreminjanjem celic s spremenljivkami" smo vpisali naše celice spremenljivk od C8 do F10.
4. "Vrednost reševalca" je reševalec poskušal poiskati sam glede na vrednost ciljne funkcije, ki je bila enaka privzeti vrednosti.
5. Pri "Zadeve v omejitvah" smo dodali privzete omejitve za trenutno težavo. Naše omejitve smo vpisali tako, da smo kliknili okno "Dodaj", kjer se je odprlo novo okno, v katerem so bile vpisane omejitve za določene lokacije. Določeni so bili tipi omejitev (=>, =<, =, bin in itd.).
6. Za metodo reševanja smo izbrali simpleksno linearno programiranje.

Naše omejitve so bile naslednje:

- C12:F12 >= C14:F14;

- B8:B10 <= B16:B18;
- C8:F10 >= 0.

Po vnosu pravilnih podatkov nam program izpiše pravilen rezultat (slika 26). V primeru napačnega vnosa se izpiše obvestilo za napačen vnos podatkov.



Slika 26: Rezultat v programu Solver oz. reševalec
Vir: (Microsoft, 2021)

Z uporabo programskega orodja Solver oz. reševalec smo pridobili podatek za skupni strošek transporta, ki se ujema z vsoto, izračunano v prejšnjih korakih (metodi stopalnikov in MODI). Optimalni strošek transporta po izračunu v programu Solver znaša 127.092 € in je prikazan na sliki 27.

	A	B	C	D	E	F	G
1	**Problem prevoza**						
2	Transportni stroški prevoza od distribucijskega centra do manjših enot.						
6			*Količina blaga, ki se prenese iz tovarne v skladišče (na presečišču):*				
7	*Tovarne:*	*Vsota*	*Ponor 1*	*Ponor 2*	*Ponor 3*	*Ponor 4*	
8	Izvir 1	120	2	39	30	49	
9	Izvir 2	80	80	0	0	0	
10	Izvir 3	65	0	0	65	0	
12	Vsota:		82	39	95	49	
14	*Povpraševanje skladišč -->*		82	39	95	49	
15	*Tovarne:*	*Zaloga*	*Stroški prevoza od tovarne do skladišča (na presečišču):*				
16	Izvir 1	120	333,00	216,00	620,00	768,00	
17	Izvir 2	80	309,00	866,00	1267,00	1417,00	
18	Izvir 3	65	940,00	450,00	570,00	733,00	
20	*Prevoz:*	127.092,00	25.386	8.424	55.650	37.632	

Slika 27: Rešitev transportnih stroškov v programu Solver oz. reševalec
Vir: (Microsoft, 2021)

8 ZAKLJUČEK

Transport predstavlja distribucijski sistem, ki je povezava med krajem dostave tovora in distribucijsko mrežo. Optimalen transport pomeni prevoz blaga od izvora do ponora oz. cilja z minimalnimi transportnimi stroški. Distribucija je pomemben element dobavne verige, ki to omogoča sistem JIT (ob pravem času na pravem mestu in v potrebnih količinah). Transportne probleme največkrat rešujemo z linearnimi modeli programiranja, ki sodijo v sklop matematičnih metod za določanje optimalne poti. Pospešeni razvoj informacijske in računalniške tehnologije povečuje uporabo programskih orodij, s katerimi se izboljšajo izkoriščenost transportnega omrežja, logistična optimizacija in transportni sistem.

V diplomski nalogi smo prikazali možnost izračuna optimalne rešitve oskrbovanja štirih manjših enot iz treh distribucijskih centrov. Osnovni namen izračuna je bila optimizacija distribucijskega omrežja in tako zmanjšanje transportnih stroškov. Programska orodja delujejo v primeru opredeljenih matematičnih metod in algoritmov. Razvoj programskega orodja izvira iz razvoja matematike in matematične znanosti. V diplomskem delu smo zajeli metodo stopalnikov in MODI.

Predstavljen je bil primer izmišljenega podjetja, pri katerem smo uporabili metodo linearnega programiranja. Transportno omrežje smo izračunali z uporabo metod stopalnikov in MODI. Predpisali smo kapacitete distribucijskih centrov, ki jih je možno odpremiti na dnevnem nivoju, ter distribucijske enote, ki jih je mogoče prevzeti. Distributer skrbi za organizacijo prevoza tovora od distribucijskega centra do manjših enot. Ceno prevoza na kilometer smo pridobili s pomočjo podjetja, ki se v realnosti ukvarja z distribucijo, vendar v diplomski nalogi ni omenjeno. Tako smo dobili najhitrejšo dostopno transportno pot med distribucijskim centrom in manjšo enoto. Transportne stroške smo izračunali na podlagi njihove relacije in tako pridobljene podatke vnesli v matriko. Z uporabo metod stopalnikov in MODI smo v štirih korakih prišli do najcenejše rešitve porazdelitve tovora, ki je znašala 127.092 €. Izračunano vrednost smo dodatno preverili v programskem orodju Solver oz. reševalec. Izračunana vrednost rešitve je bila enaka, torej 127.092 €. Če povzamemo, smo z uporabo matematičnih metod stopalnikov in MODI v treh korakih izračunali najcenejšo transportno pot na dnevnem nivoju. Izračun smo potrdili s programom Solver. Program Solver omogoča manjše možnosti za napake, je zanesljivejši in hitrejši.

Sklepamo, da se bo vloga matematičnih metod in programskih orodij v prihodnosti izboljšala ter dodatno podprla logistična-transportno tehnologijo. Dodatni razvoj tehnologije bo po pričakovanjih olajšal delo logističnih delavcev, ki danes skrbijo za organizacijo optimalnih transportnih poti. Pričakujemo lahko zmanjšano število slabo zastavljenih in načrtovanih logističnih procesov na transportnem omrežju ter posledično boljšo izkoriščenost transportnega procesa.

9 LITERATURA IN VIRI

Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. in Orlin, J. B. (1988). *Network flows.* Massachusetts: Institute of technology Cambridge.

Avadian Kootanaee, A., Babu, K. N. in Talari, H. *Just-in-Time Manufacturing System: From Introduction to Implement.* (1. marec 2013). Pridobljeno 3. 10. 2022 z naslova https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2253243.

Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. in Sherali, H. D. (2009). *Linear Programming and Network Flows, 4th Edition.* New Jersey.

Buntak, K., Grgurević, D., Drožđek, I. (2012) *Međusobni odnos logističkih I transportnih sustava. Strokovni članek*, Tehniški vestnik 6.

Chopra, S. in Meindl, P. (2012). *Supply Chain Management. Strategy, Planning & Operation.* Pridobljeno 4. 10. 2022 z naslova https://base-logistique-*services.com/storage/app/media/Chopra_Meindl_SCM.pdf.*

Google maps. (2022). Pridobljeno 3. 10. 2022 z naslova https://www.google.com/maps/@48*.0254577, 14.8024172,7.47z.*

Great Learning. (2022) Pridobljeno 21. 11. 2022 z naslova https://www.mygreatlearning.com/blog/transportation-problem-explained/.

Kootanaee AJ, B. K. (2013). *Just-in-Time Manufacturing System: From Introduction to Implement.*

Marič, D. (2011). *Načrtovanje logističnih procesov - Transportni problemi*.

Marić, D. (2019). *Zapiski s predavanj iz predmeta načrtovanje logističnih procesov*.

Matotek, M. in Regodič, D. (2013). Software package Transp in the function of automatisation of transport management system. *Singidunum Journal of Applied Sciences*, 54-60. Pridobljeno 3. 10. 2022 z naslova https://www.researchgate.net/publication/272904143_Software_package_Transp_in_the_function_of_automatisation_of_transport_management_system.

Microsoft. (2021). Pridobljeno 4. 10. 2022 z naslova: https://support.microsoft.com/sl-si/office/dolo%C4%8Danje-in-re%C5%A1evanje-problema-z-uporabo-re%C5%A1evalca-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040.

Rajter, M. in Križman, A. (2010). *Oskrbovalne verige*. Ljubljana: Prometna šola Maribor.

Regodić, D. (2014). *Logistika - Lanci snabdevanja.* Beograd: Univerzitet Singidunum.

Vadnal, A. (b. l.). *Sigma*. Pridobljeno 5. 10. 2022 z naslova http://www.nauk.si/materials/2048/out/index.html#state=1.

ViaMichelin (2022). Pridobljeno 5. 10. 2022 z naslova https://www.viamichelin.com/.

Xianyao L. (2017). Solving transportation problems with warehouse locations based on greedy algorithm. Pridobljeno 23. 11. 2022 z naslova file:///C:/Users/AMDPower/Downloads/25878488%20(1).pdf.