

Primjena matematičkog modela u optimiranju prekrcajnih manipulacija cross docking terminala

Štefner, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:119:114070>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-18**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Toni Štefner

PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELA U OPTIMIRANJU
PREKRCAJNIH MANIPULACIJA CROSS DOCKING
TERMINALA
DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2020.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELA U OPTIMIRANJU
PREKRCAJNIH MANIPULACIJA CROSS DOCKING
TERMINALA**

**APPLYING MATHEMATICAL MODEL IN OPTIMIZING
TRANSHIPMENT MANIPULATIONS OF CROSS DOCK
TERMINAL**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

Student: Toni Štefner

JMBAG: 0246054498

Zagreb, rujan 2020.

PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELA U OPTIMIRANJU PREKRCAJNIH MANIPULACIJA CROSS DOCKING TERMINALA

SAŽETAK

U diplomskom radu analizira se cross docking sustav logističko distribucijskog centra odnosno mogućnost primjene matematičkog modela na optimiranje alokacije prijemnih vrata koji posljedično utječe na cjelokupni sustav i njegovu učinkovitost. Teorijski je dio u radu potkrijepljen primjerom iz prakse na kojemu se primjenom matematičkog modela pri alokaciji dolaznih kamiona dolazi do prijedloga optimizacije poslovanja. Primjenom matematičkog modela reducira se prazan hod vozila, manipulacija robe, smanjuje se zagušenje na dolaznim dokovima i povećava se učinkovitost samog sustava koji rezultira boljom uslugom za potrošače i većom konkurentnosti na tržištu.

Ključne riječi: cross docking, optimizacija, matematički model

APPLYING MATHEMATICAL MODEL IN OPTIMIZING TRANSHIPMENT MANIPULATIONS OF CROSS DOCK TERMINAL

SUMMARY

This thesis analyzes cross docking system and optimization solutions that mathematical models can provide. It focuses on the dock door assignment problem and its effect on systems efficiency and effectiveness. Suggestion for optimization of logistic distribution center operations were given by application of mathematical models on the example of case study. Application of mathematical model results in decreased idling times, reduced freight manipulations and dock door congestions. Most importantly it results in higher system performance which in turn provides better customer service and positioning.

Keywords: cross docking, optimization, mathematical model

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREDNOSTI I NEDOSTATCI KONCEPCIJE CROSS DOCKINGA.....	3
2.1. Definiranje pojma Cross dockinga.....	4
2.2. Break bulk Cross Docking.....	8
2.3. Pre-packed Cross Docking.....	10
2.4. Prednosti i nedostaci.....	13
2.5. Glavni problemi cross dockinga.....	19
3. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MATEMATIČKOG MODELA U RJEŠAVANJU LOGISTIČKIH PROBLEMA.....	22
3.1. Definiranje modela.....	23
3.2. Rješavanje problema primjenom matematičkog modela.....	27
3.3. Problem alokacije resursa.....	28
4. ANALIZA SUSTAVA CROSS DOCKINGA LOGISTIČKOG CENTRA.....	31
5. UNAPRIJEĐENJE POSTOJEĆEG SUSTAVA CROSS DOCKINGA OPTIMIRANJEM ALOKACIJE PRIJEMNIH VRATA.....	37
5.1. Deskriptivni model alokacije prijemnih vrata.....	37
5.2. Matematički model alokacije prijemnih vrata.....	39
5.3. Postupak rješavanja problema na matematičkom modelu.....	40
6. OČEKIVANI UČINCI PRIMJENE PREDLOŽENOG RJEŠENJA.....	46
7. ZAKLJUČAK.....	51
LITERATURA.....	52
POPIS SLIKA.....	54
POPIS TABLICA.....	55
POPIS GRAFIKONA.....	56

1. UVOD

Proteklih je nekoliko desetljeća došlo do značajnog porasta konkurentnosti ponude i potražnje na tržištu što je direktna posljedica globalnog ekonomskog razvoja. U promjenjivom okruženju poduzeća se moraju znati prilagoditi ako planiraju biti konkurentna na globalnom tržištu u suvremenom svijetu. Unutar navedenog konteksta, poduzeća ne mogu preživjeti bez brzog, efikasnog i pouzdanog lanca opskrbe. Radi navedenog se sve više poduzeća i industrija okreće prema novim logističkim koncepcijama : vitka logistika, Just-In-Time, agilna logistika i kontinuiranim tehnikama poboljšanja poslovanja. Cross docking je također definiran kao operativna strategija koja premješta stavke kroz centre za konsolidaciju protoka ili cross dokove bez skladištenja. Primjena cross dockinga u svom poslovanju ima mnoge prednosti koje utječu na uspješnost lanca opskrbe. Kako bi cross docking sustav optimalno funkcionirao potrebno je donijet odluke na različitim razinama koje su vezane elemente cross dockinga.

Predmet ovog rada je prikazati na primjeru iz prakse učinkovitost matematičkih modela pri rješavanju jednog od glavnih problema cross docking sustava, odnosno problema alokacije prijemnih vrata. Primarna svrha istraživanja je detaljna analiza cross docking sustava logističko distribucijskog centra, a cilj je potom ponuditi rješenje kojim će se povećati efikasnost cross dockinga te smanjiti ukupni troškovi poslovanja. Zbog povjerljivosti podataka u radu se ne spominje konkretna tvrtka čiji je logističko distribucijski centra analiziran u studiji slučaja, već se dotična tvrtka referira kao veleprodajno poduzeće odnosno *logičko distribucijski centar* veleprodajnog poduzeća.

Diplomski rad je podijeljen u sedam cjelina, a opće značajke cross dockinga su detaljno objašnjene u drugom poglavlju. Drugo poglavlje uključuje vrste cross docking sustava, te njegove najveće prednosti i nedostatke. Osim spomenutog navode se i glavni problemi vezani uz operacije cross dockinga. Treće poglavlje započinje teorijskim određivanjem modela kako bi se stvorila podloga za daljnje razumijevanje načina na koji oni omogućuju rješavanje logističkih problema. Četvrto poglavlje obuhvaća analizu cross docking sustava logističkog centra u kojoj je prikazan način obavljanja operacija, raspored prijemnih vrata i dolazaka kamiona, broj dokova, modela distribucije te problemi s kojima se susreće.

U petom poglavlju primjenjuje se matematički model na cross docking sustav, odnosno prikazuje se unaprjeđenje postojećeg sustava korištenjem matematičkog modela pri alokaciji

prijemnih vrata. Matematički model se deskriptivno i matematički opisuje, zadaje se funkcija cilja, postavljaju se ograničenja i parametri. Nadalje je predstavljen postupak rješavanja matematičkog modela, odnosno način korištenja Microsoft Excel alata, Solver. U šestom poglavlju prikazuju se očekivani učinci predloženog rješenja i usporedbe sadašnjeg i predloženog sustava.

U posljednjem poglavlju sumiraju se najvažniji podatci te se donosi zaključak na temelju dostupnih podataka i provedene matematičke analize.

2. PREDNOSTI I NEDOSTATCI KONCEPCIJE CROSS DOCKINGA

Cross docking predstavlja koncepciju unutar distribucijskog sustava koja eliminira zalihe, ubrzava protok robe, odnosno ubrzava i čini cjelokupni distribucijski proces efektivnijim i efikasnijim. Omogućuje prednosti kao što su: rukovanje materijalom, eliminacija skladišta, redukcija troška zaliha i pakiranja, automatiziranje sustava i slično. No, takav sustav zahtjeva visoku razinu planiranja i koordinacije, što onemogućuje primjenu cross docking sustava u manjim logističko distribucijskim centrima. *Outsourcing* proizvodnje u zemlje gdje su manji troškovi proizvodnje stvara nove logističke potrebe kako bi se ti proizvodi vratili bliže europskim potrošačima. Internet prodaja proizvoda podrazumijeva i intenzivniju konkurenciju, a istovremeno se potrošači navikavaju na besplatne i iznimno brze dostave. Sve veći broj partnera i mjesta isporuke, smanjenje volumena, ali sve veća učestalost narudžbi, kraće vrijeme isporuke, regulirani radni sati vozača, te sve veći pritisak za smanjenje zaliha samo su neki od čimbenika koji doprinose rastućim pritiscima na opskrbne lance.

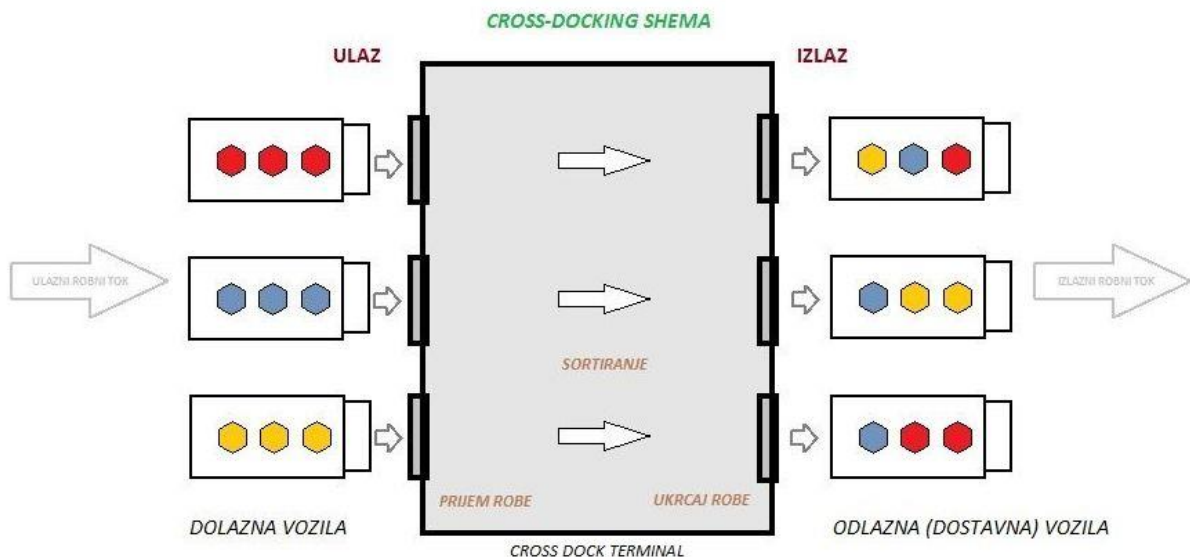
Unutar navedenog konteksta, poduzeća ne mogu preživjeti bez brzog, efikasnog i pouzdanog lanca opskrbe. Radi navedenog se sve više poduzeća i industrija okreće prema novim logističkim koncepcijama: vitka logistika, Just-In-Time, agilna logistika i kontinuiranim tehnikama poboljšanja poslovanja. Cross docking je logistički sustav, a njegova upotreba raste s rastom popularnosti JIT metoda. Cross docking je praksa skladištenja, a kako bi ona bila uspješna i učinkovita potrebna je uska koordinacija i kontinuirani protok informacija između proizvođača, distributera i kupaca.¹ U standardnom distribucijskom centru roba primljena od ulaznih kamiona iskrcavaju se unutar skladišta. Kada je navedena roba ponovo potrebna, preuzima se iz skladišta, pakira i ukrcava na izlazna vrata. Cross docking predlaže alternativno rješenje. Na cross docking terminalu roba se izravno iskrcava iz dolaznih kamiona te nakon manipulacija sortiranja i pakiranja, ukrcava u otpremne kamione. Manipulacije iskrcaja, ukrcaja i prekrcaja odvijaju se za manje od 24 sata sa što je manje moguće intermedijarne pohrane. Ova tehnika ubrzava protok robe i eliminira troškove skladištenja.²

¹ Kulwicz, R. (2004) Crossdocking as a Supply Chain Strategy. Dostupno na: https://www.ame.org/sites/default/files/target_articles/04-20-3-Crossdocking.pdf (pristupano 12.05.2020.)

² Bartholdi, J.J. i Gue, K.R. (2004). The Best Shape for a Crossdock. *Transportation Science*, vol.38, broj 2. Str. 235-244.

2.1. Definiranje pojma Cross dockinga

Cross docking se može definirati kao koncepcija unutar distribucijskog sustava u kojemu se roba zaprimljena u skladištu ili distribucijskom centru ne skladišti nego se sprema za daljnju distribuciju. Cross docking zahtjeva pažljivu sinkronizaciju svih ulaznih i izlaznih procesa, odnosno manipulacija robom. Eliminacijom skladištenja i aktivnosti skladištenja zaliha značajno se smanjuju distribucijski troškovi.³ Slika 1 prikazuje primjer cross docking distribucije. Ulazni kamioni na lijevoj strani sadrže proizvode za različita odredišta. Proizvodi se iskrcavaju, sortiraju i njihov sadržaj se ukrcava u izlazne kamione s desne strane koji putuju na različita odredišta.



Slika 1. Cross docking shema

Izvor: Cicvarić, B. (2016) *Znate li što je Cross-docking?*

Dostupno na: <https://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=2374> (pristupano 25.03.2020.)

Cross docking je također definiran kao operativna strategija koja prekrca stavke kroz centre za konsolidaciju protoka ili cross dokove bez skladištenja.⁴ Izraz cross docking upotrebljavan je za opisivanje različitih vrsta operacija, a sve uključuje brzu konsolidaciju i otpremu proizvoda. Produktivnost, brzina i što manja neizvjesnost u opskrbnim lancima postali su ključni čimbenici uspjeha logističkih organizacija, a kako bi povećale efikasnost i došle do

³ Ladier, A. (2014). Scheduling cross-docking operations: Integration of operational uncertainties and resource capacities. Université de Grenoble

⁴ Li, Z. i sur. (2008). A Solution for Cross-docking Operations Planning, Scheduling and Coordination. Journal of Service Science and Management. 05(02): str. 2957 - 2962

konkurentskih prednosti mnoge kompanije koriste razne strategije od kojih je jedna Cross docking. Funkcija cross dockinga je ubrzati protok robe i eliminirati zalihe u opskrbnim lancima, odnosno cross docking ima funkciju prekrajnog terminala gdje se pristigla roba sortira i preusmjerava prema krajnjim točkama u opskrbnom lancu, bez skladištenja. Svrha cross dockinga uključuje smanjenje troškova zaliha, povećanje obrtaja zaliha, konsolidaciju prijevoza, povećanje propusnosti i smanjenje operativnih troškova povezanih s eliminacijom nepotrebnog rukovanja i skladištenja.⁵

Koncepcija cross dockinga se odnosi na ulazne terminale, manipulacijske prostore te izlazne terminale. Na prijemnoj strani (ulazni terminal), nalaze se dokovi za prihvat vozila gdje se roba iskrcava iz dolaznih vozila, zatim se sortira prema narudžbama kupaca po određenim zonama te se na izlaznoj strani ukrcava na odlazna (dostavna) vozila koja su zadužena za daljnju distribuciju. Rad unutar cross dockinga može biti manualan (radnici preuzimaju, sortiraju i slaže palete u izlaznu zonu pomoću viličara) i automatski (pokretne trake). Najvažnija karakteristika cross dockinga je kratkotrajno zadržavanje robe, odnosno minimalno skladištenje robe što rezultira pohranom robe unutar cross docking prostora isključivo radi sortiranja te se odmah nakon toga prosljeđuje dalje. Iz toga proizlazi glavna uloga cross docking terminala, koordinacija ulaznih i izlaznih tokova robe.⁶

Cross docking operacije uključuju proizvodnju, distribuciju, transport, maloprodaju i *opportunistic* cross docking. *Oportunistički* cross docking je termin koji se koristi pri odluci da li će se koristiti cross docking ili neće, a odluka se donosi kada započne proces zaprimanja robe.⁷ Tradicionalna skladišta prekravaju materijale u skladišta zaliha, drže ih dok nisu ponovno potrebni te ih potom ponovo prekravaju prema mjestu zadovoljenja potrebe. Cross docking koordinira ponudu i isporuku tako da se roba zaprimljena na mjestu iskrcaja, prekrava na zonu ukrcaja gdje se ukrcavaju na otpremna vozila. Navedeno, značajno smanjuje razinu zaliha i povezanu administraciju.

Postoje dva osnovna oblika cross dockinga. U prvom, *pickeri* (radnici koji obavljaju manipulacije robom) se kreću od ulaznih vozila do otpremnih vozila. U navedenom obliku nije potrebno skladište, odnosno nisu potrebne manipulacije sortiranja i konsolidiranja robe, jer se

⁵ Li, Z. i sur. (2008). A Solution for Cross-docking Operations Planning, Scheduling and Coordination. Journal of Service Science and Management. 05(02): str. 2957 - 2962

⁶ Cicvarić, B. (2016) Znaete li što je Cross-docking? Dostupno na: <https://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=2374> (pristupano 05.05.2020.)

⁷ Napolitano, M. (2000) Making the Move to Cross Docking: A Practical Guide to Planning, Designing, and Implementing a Cross Dock Operation. WERC

roba iskrcava direktno u otpremna vozila. Takav oblik zahtjeva prepaked model cross dockinga kako bi se eliminirale prethodno navedene manipulacije. U drugom obliku postoji nešto više dodatnog posla oko paketa i materijala koji stignu na terminal pošto se radi o velikim paketima koje je potrebno otvoriti, podijeliti u manje količine, sortirati, konsolidirati u pošiljke prema različitim kupcima i premjestiti ih na dostavna vozila.⁸ Odluke koje se trebaju donijeti prilikom planiranja, dizajniranja, provođenja i izvođenja cross dockinga donose se na tri različite razine: strateškoj, taktičkoj i operativnoj. Strateška razina uključuje dugoročne odluke koje imaju snažan utjecaj na životni vijek cross docka i na taktičke i operativne odluke koje slijede. Strateške su odluke najčešće odgovornost upravnog odbora. Primjeri strateških odluka koje se moraju donijeti prilikom dizajniranja novog sustava cross dockinga su:

- Lokacija logističko distribucijskog centra – geografski i unutar mreže dobavljača, klijenata i ostalih terminala.
- Plan logističko distribucijskog centra (raspored) – veličina, oblik i broj vrata.⁹

Taktičke odluke su srednjoročne odluke o upravljanju LDC-om. Na njih snažno utječu strateške odluke i imaju izravan utjecaj na operativne odluke. Primjeri taktičkih odluka su sljedeći:

- Koji će se proizvodi distribuirati kroz cross docking – cross docking nije primjeren za sve vrste proizvoda
- Odluke o tehnologiji koja je ključan faktor za cross docking sustave
- Odluke o ruti distribucije dobara od dobavljača do klijenta
- Interni raspored terminala, a posebno dizajn područja privremenog skladištenja.¹⁰

Operativne odluke donose upravitelji cross docking terminala na tjednoj ili dnevnoj bazi. Neke od operativnih odluka uključuju:

- Vrijeme dolaska kamiona i iskrcaja
- Iskrcaj
- Kontrola
- Operacije koje dodaju vrijednost usluzi
- Privremeno skladištenje
- Transport

⁸ Waters, D. (2003) Logistics- An Introduction to Supply Chain Management. PALAGRAVE MACMILLAN: New York

⁹ Ladier, A. (2014). Scheduling cross-docking operations: Integration of operational uncertainties and resource capacities. Université de Grenoble

¹⁰ Ibid.

- Ukrcaj¹¹

Učinkovitost cross docking operacija može se mjeriti pomoću različitih pokazatelja. Niže se navode neki od najvažnijih pokazatelja:

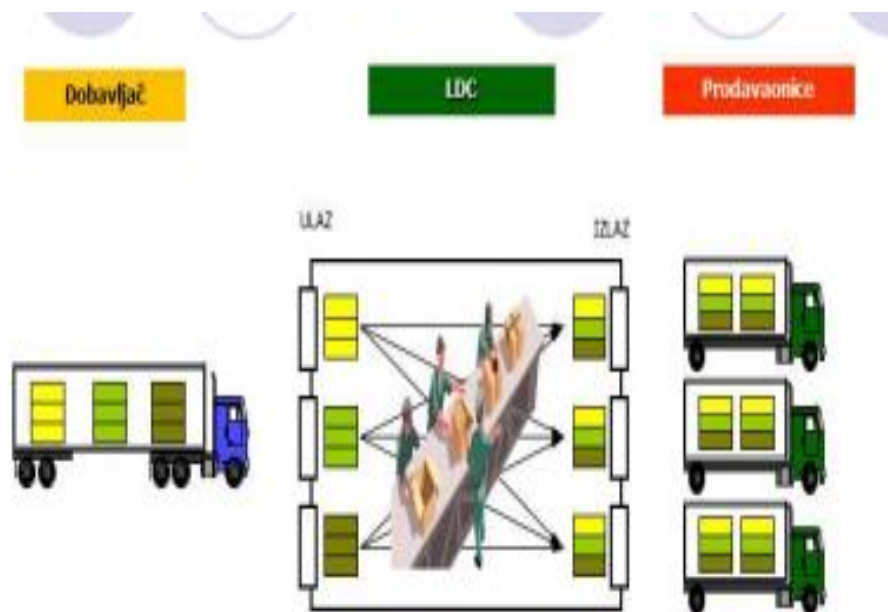
- Razina zaliha – kako je jedan od glavnih ciljeva cross dockinga smanjenje zaliha logično je promatrati razinu ukupnog broja skladištenih dobara.
- Radni sati – broj ukupnih radnih sati potrebnih za izvršavanje poslovanja važan je indikator učinkovitosti.
- Pređena udaljenost tijekom prijevoza svih proizvoda - usko povezano s prethodnim indikatorom
- Zagušenje - ne postoje načini za izravno mjerenje zagušenja, ali nastanak zagušenja znatno reducira efikasnost i brzinu rada
- Ukupno vrijeme zadržavanja proizvoda - ako je glavni cilj maksimizirati promet dobara, smisleni pokazatelj za praćenje je ukupno vrijeme provedeno unutar terminala za svu robu.
- Ukupno vrijeme iskrcaja ili ukrcaja - kako bi se ubrzao promet robe i što prije oslobodila vrata, minimiziranje ukupnog vremena provedenog na izlaznim dokovima od strane izlaznih kamiona mogući je cilj. Slično tome, ako je stopa iskorištenosti ulaznih vrata velika, ukupno vrijeme provedeno na ulaznim dokovima ulaznim kamionima je značajan pokazatelj učinkovitosti.
- Odstupanje u vremenom potrebnom za obradu kamiona - kada su definirana vremena ili rokovi dolaska, važno je osigurati njihovo poštivanje, uz pokazatelj pravovremene obrade ulaznih ili izlaznih kamiona. Navedeni indikator prati situacije kada su teretna vozila prisiljena stići ranije ili krenuti kasnije nego što je planirano, jer nije moguće započeti iskrcaj ili završiti ukrcaj na vrijeme.
- Stopa iskorištenja vrata – pokazatelj povezan s ukupnim vremenom ukrcaja ili iskrcaja
- Postotak popunjenosti kamiona – neiskorišteni kapaciteti kamiona mogu dovesti do viših troškova prijevoza čije je smanjenje i bilo glavni cilj koncepta cross dockinga
- Broj proizvoda koji se nisu ukrcali – veliki broj neukrcanih proizvoda predstavlja izgubljeni prihod, a posljedično i neučinkovit sustav cross dockinga.¹²

¹¹ Ibid.

¹² Ladier, A. (2014). Scheduling cross-docking operations: Integration of operational uncertainties and resource capacities. Université de Grenoble

2.2. Break bulk Cross Docking

Razlikuju se dva modela cross docking sustava: break bulk i pre-packed cross docking. Break Bulk Cross Docking (BBxD) je način distribucije kod kojeg se zbirne isporuke dobavljača komisioniraju na distributivnom skladištu trgovačkih lanaca, po narudžbi i na taj način se kreiraju pojedinačne isporuke. Ovaj tip koristi tehnologiju komisioniranja zvan pick-by-line ili pick-to-zero. Slika 2 prikazuje Break Bulk Cross Docking model distribucije.



Slika 2. Break Bulk Cross Docking model distribucije

Izvor: Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Tablica 1 prikazuje prednosti i nedostatke uvođenja breakbulk cross dockinga. Odnosno, prikazuje kako BBxD utječe na pojedine čimbenike distribucije (broj isporuka, veličine pošiljke, zaliha itd..., prikazano na tablici 1 prema dobavljaču, logističko distribucijskom centru i prodavaonici, te sveukupni utjecaj na opskrbeni lanac. Primjerice, razina zaliha kod dobavljača ostaje ista, u logističko distribucijskom centru se eliminira, a u prodavaonicama se smanjuje ili ostaje ista, što čini razinu zalihe manjom ili jednakom unutar opskrbnog lanca korištenjem BBxD-a u odnosu na distribuciju putem klasičnog skladišta.

Tablica 1. Odnos relevantnih čimbenika uvođenjem BBxD

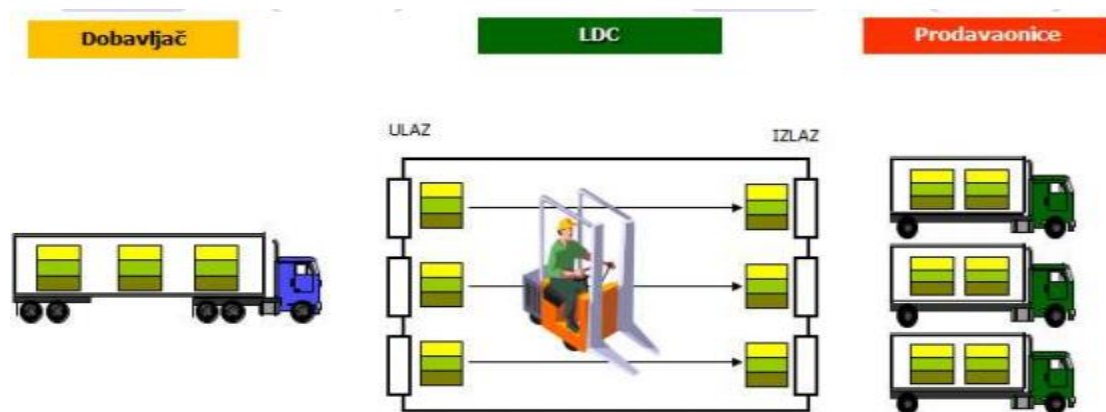
	Dobavljač	Logističko distribucijski centar	Prodavaonica	Opskrbni lanac
Broj isporuka	<<	=>	<<	<<
Veličina pošiljke	>>	>	>>	>>
Dostupnost proizvoda u prodavaonici - DPP	-	-	>	>
Zaliha	=	-	<=	<=
Promet	>=	>	>=	>=
Troškovi operacija u skladištima ili prodavaonicama	<<	>	<<	<<
Troškovi transporta	<<	>	-	<<
Potrebna pouzdanost dobavljača	-	>	-	>
Potreba za e-razmjenom dokumenata	>	>	-	>
Zahtijevano povjerenje, koordinacija i partnerski odnos	>	>	-	>
Korist	>>	>>	>>	>>

Izvor: Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Korištenjem BBxD-a smanjuju se troškovi distribucije, skladišne površine, skladišne površine u prodavaonicama, broj skladišnih lokacija u čitavom lancu opskrbe te kompleksnosti isporuka u poslovnice. Povećava se promet po m² distributivnog centra i dostupnost proizvoda, uravnotežuje se tok robe, smanjuje se razina zalihe te broj dokumenata i transakcija kao što je prikazano na tablici 1.¹³

2.3. Pre-packed Cross Docking

Pre-packed cross docking (PPxD, slika 3) je model kod kojeg se pošiljke pripremljene od dobavljača sukladno narudžbama prodavaonica zaprimaju i odmah prekrcavaju na izlaznu zonu za konsolidaciju s sličnim pošiljkama drugih dobavljača za iste prodavaonice.



Slika 3. Pre-packed Cross Docking model distribucije

Izvor: Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Kao i prethodna tablica 1, tablica 2 prikazuje prednosti i nedostatke uvođenja prepaked cross docking modela u odnosu na distribuciju putem klasičnih skladišta. BBxD i PPxD modeli imaju identične učinke prema čimbenicima: broja isporuke, veličina pošiljka, dostupnosti proizvoda, zaliha i prometa. PPxD zahtijeva veću potrebu za pouzdanosti dobavljača i razmjenom dokumenata, te također zahtijeva visoku razinu koordinacije i partnerskih odnosa u odnosu na BBxD i klasični distribucijski sustav. Potreba za dobrim odnosima i pouzdanosti dobavljača proizlazi iz toga što se unutar PPxD modela roba po primitku odmah prekrcava u otpremnu zonu te nema dodatnih radnji komisioniranja robe.

¹³ Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Tablica 2. Odnos relevantnih čimbenika uvođenjem PPxD

	Dobavljač	Logističko distribucijski centar	Prodavaonica	Opskrbni lanac
Broj isporuka	<<	=>	<<	<<
Veličina pošiljke	=	>	>>	>>
Dostupnost proizvoda u prodavaonici - DPP	-	-	>	>
Zaliha	=	-	<=	<=
Promet	>=	>	>=	>=
Troškovi operacija u skladištima ili prodavaonicama	=	>	<<	<<
Troškovi transporta	<	>	-	<<
Potrebna pouzdanost dobavljača	-	>>	-	>>
Potreba za e- razmjenom dokumenata	>>	>>	-	>>
Zahtijevano povjerenje, koordinacija i partnerski odnos	>>	>>	-	>>
Korist	>	>	>>	>>

Izvor: Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Korištenjem PPxD-a ostvaruju se slični pozitivni učinci kao i kod BBxD-a (tablica 2), uz razliku što PPxD izrazito ovisi o:

- strukturi maloprodajne mreže,
- dubini i širini distribucije (asortimanska razina i broj prodavaonica u koje se roba dostavlja),
- vrsti, volumenu i količini proizvoda,

- broju i pouzdanosti dobavljača,
- točnosti komisioniranja od strane dobavljača (ne smije biti odstupanja od fizički isporučene robe i onog što je napisano na otpremnici)
- elektronskoj razmjeni dokumenata koja je OBAVEZNA (e-narudžba dobavljaču, e-potvrda otpreme od dobavljača, e-elektronska otpremnica od dobavljača)
- označavanju pošiljaka za prodavaonice koje moraju biti kompaktne i jednoznačno obilježene.

Najčešće se koristi za svježe proizvode (perad, svježe meso, riba..) s ciljem produljenja trajnosti proizvoda na polici, ali se isto tako može koristiti za sporo obrtjne artikle za dostavu u manje formate prodavaonica. Posebno je pogodan za distribuciju većeg broj proizvoda manjih dimenzija kao što je dekorativna kozmetika, higijenski proizvodi, različiti alati i uređaji, odjeća ili sezonski proizvodi s jednokratnom isporukom.¹⁴

¹⁴ Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

2.4. Prednosti i nedostatci

Proces distribucije čini 30% troškova prodaje proizvoda, a svako povećanje troškova negativno utječe na sve uključene u lancu opskrbe na današnjem suvremenom konkurentnom tržištu. Radi navedenog, izražena je potreba za smanjenjem troškova distribucije i povećanjem njene učinkovitosti.¹⁵ Cross docking pove efikasnost iskoristivosti kapaciteta kamiona kroz konsolidaciju pošiljka različitih veličina s istim odredištem. Strategija cross dockinga ima i druge prednosti kao što su smanjenje troška skladištenja, držanja zaliha, rukovanja, rada i transporta. Nadalje, smanjuje vrijeme isporuke od dobavljača do kupaca, smanjuje prostor potreban za skladištenje te smanjuje rizik od oštećenja i zastarjelosti proizvoda. Cross docking omogućuje konsolidaciju pošiljaka, poboljšanje korištenja resursa, smanjenje zaliha i bolju kontrolu nad rasporedom isporuka. Druge prednosti su poboljšanje razine usluge i povećanje stope protoka zaliha i prometa robe. Prednosti su prikazane na tablici 3.¹⁶

Andre Langevin i Diane Riopel su u knjizi *Logistics Systems – Design and Optimization*¹⁷ koristi od cross dockinga sumirali na sljedeći način:

- Eliminacija aktivnosti povezanih uz skladištenje proizvoda kao što su ulazna inspekcija, odlaganje, skladištenje, nadopunjavanje i odabir narudžbe.
- Brži protok proizvoda i povećana usluga potrošačima. Eliminacijom skladištenja proizvodi se kreću direktno od prihvata do distribucije.
- Smanjenje rukovanja proizvodima. Rezultat navedenog je smanjena vjerojatnost oštećenja proizvoda, manje habanje opreme za rukovanje materijalom i smanjenje fizičkog rada.
- Smanjenje inventara kroz izbjegavanje skladištenja na više lokacija
- Manji troškovi koji su rezultat eliminacije ranije navedenih aktivnosti: manjeg inventara, manjih investicija zbog oštećenja proizvoda ili opreme i kroz konsolidaciju proizvoda namijenjenih istom odredištu.¹⁸

¹⁵ Mavi, K. R. i sur. (2020) Cross-Docking: A Systematic Literature Review. Sustainability: Basel, Švicarska

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Langevin, A. i Riopel, D. (2005) Logistics Systems: Design and Optimization. Springer: New York

¹⁸ Ibid.

Tablica 3. Prednosti cross dockinga

Prednosti	Zašto?
Rukovanje materijalom	Pojednostavljeno rukovanje što povećava efikasnost (etiketiranje, vaganje, verificiranje u pokretu..)
Nema skladišta	Zbog dinamičnog sustava opskrbe, cross docking postaje optimalna zamjena za tradicionalna skladišta (jednostavnija izgradnja, manji prostor, ostale prednosti)
Trošak zaliha i pakiranja	Trošak zaliha se reducira jer je pohrana proizvoda minimalna, a trošak dodatnog pakiranja se također smanjuje jer proces postaje automatiziran
Trošak transporta i distribucije	Optimiranje popunjenja kamiona proizvodima koji imaju slične krajnje lokacije, povećava se kapacitetna popunjenost transporta, a smanjuje transportni trošak, te se također doprinosi većoj efikasnosti distribucije, odnosno smanjuje se distribucijski trošak
Brže skeniranje	Automatizacijom sustava, ubrzava se proces skeniranja na ulaznom i izlaznom terminalu
Veća dostupnost proizvoda	Ubrzanjem skladišnih procesa (preuzimanja, etiketiranja, sortiranja i otpreme) optimira se tok proizvoda, te bržim dolaskom do krajnje točke distribucije povećava se dostupnost proizvoda
Rizik držanja zaliha	Ne postoji, jer je držanje zaliha minimalno

Izvor: Autor izradio prema <https://www.floship.com/cross-docking/> (pristupano 25.03.2020.)

Nadalje, postoji nekoliko nedostataka cross dockinga (tablica 4). Glavni nedostatak je kompleksnost planiranja i koordinacije koja je potrebna za efikasno provođenje navedene strategije. Radi težine uspostavljanja navedenog sustava mnoga poduzeća nisu uspjela primijeniti navedeni princip u svom poslovanju. Također, kako cross docking ne uključuje držanje inventara neki menadžeri osjećaju nesigurnost zbog činjenice da se potrošačevi zahtjevi zadovoljavaju s udaljenijih objekata, a ne s lokalnih skladišta gdje se nalaze zalihe robe. Jedan

od nedostataka može biti tehnologija, odnosno njena cijena, koja je u mnogim slučajevima iznimno visoka.¹⁹

Tablica 4. Nedostatci cross dockinga

Nedostatci	Zašto?
Skladišni kapaciteti partnera	Ako partneri nemaju dovoljne kapacitete za skladištenje proizvoda, povećanje protoka proizvoda neće imati veliku efikasnost te će skladište biti prekapacitirano, što u krajnjem slučaju dovodi do maksimalnih troškova zaliha i ostavljanjem proizvoda izvan skladišnih prostora
Limitirani kapacitet	Cross docking sustav je unaprijed izračunat i napravljen za maksimalan potreban kapacitet, te bilo kakav dodatni teret može prouzročiti zastoje u sustavu te ga začepiti i oštetiti proizvode unutar njega
Upravljanje i nadzor	Potreba za nadzorom i kontrolom jer zastoje sustava u bilo kojem segmentu može prouzročiti velike probleme u cjelokupnom sustavu
Neispravna pošiljka	Izlazni korisnici moraju prihvatiti rizik da sustav može pogriješiti i dostaviti pogrešan proizvod

Izvor: Autor izradio prema <https://www.floship.com/cross-docking/> (pristupano 25.03.2020.)

Da bi cross docking sustav bio funkcionalan potrebno je zadovoljiti neke uvjete: dovoljan broj transportnih sredstava kako bi sustav funkcionirao na pravi način (optimalno), automatiziran sustav s dobrom software-skom potporom i velike pošiljke kako bi se reducirao trošak (ekonomija količine). Nakon zadovoljenja navedenih uvjeta, korištenje cross dock sustava je optimalno kada je:

¹⁹ Apte, U.M. i Viswanathan, S. (2000). Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies. International Journal of Logistics Research and Applications, 3, 291 - 302.

- potražnja konstantna, što znači da se stvara raspored po kojem sustav funkcionira, eliminira se pohrana viška proizvoda
- transport vremenski osjetljivih proizvoda i kvarljivih proizvoda, bržom dostavom navedenih proizvoda povećava se vremenski period proizvoda unutar trgovine, što povećava mogućnost prodaje, a smanjuje rizik isteka roka
- e-prodaja, zbog velikih količina prodaje putem interneta koje zahtijevaju brze i točne dostave²⁰

Prema analizi iz 2011. godine Saddle Creek Logistics Services navodi da sve više poduzeća primjenjuje cross docking praksu distribucije. Prema njihovom istraživanju 68.5% njihovih ispitanika koristili su cross-docking sustav, dok je taj postotak u istraživanju 2008. iznosio 52%. Od navedenog broja 28.6% ispitanika je navelo da su cross docking sustav uveli tek nedavno. 15.1% ispitanika izjasnilo se da u sljedećih 18 do 24 mjeseca planira uvesti cross docking. Iz navedenog je istraživanja vidljivo da poduzeća smatraju da im sustav cross dockinga donosi značajne koristi za poslovanje. Ispitanici su se izjasnili da mnogo faktora utječe na odluku o prelasku na cross docking sustav, ali među njima glavni su povećanje usluge potrošačima (37.9%), smanjenje transportnih troškova (32.4%) i konsolidacija pošiljaka prema destinaciji (32.4%).²¹

Nakon implementacije cross docking sustava ispitanici su se izjasnili kako su glavne prednosti implementirane prakse sljedeće: povećana usluga potrošačima, smanjenje troškova, konsolidacija pošiljki, brža dostava proizvoda na tržište, smanjenje potrebe za skladišnim prostorom i ostale, prikazane tablicom 5.

²⁰ Kulwicz, R. (2017) What is Cross- Docking? Dostupno na: <https://www.floship.com/cross-docking/> (pristupano 10.06.2020.)

²¹ Saddle Creek Corporation (2011) 2011 Cross-Docking Trends Report. Dostupno na: <http://www.distributiongroup.com/articles/070111DCMwe.pdf> (pristupano 10.06.2020.)

Tablica 5. Najveće koristi implementacije cross docking sustava 2011. godine

Najveće koristi implementacije cross docking sustava prema ispitanicima 2011. godine	
Povećana kvaliteta usluge potrošačima	19.4%
Smanjenje troškova transporta	14.3%
Konsolidacija pošiljki prema destinacijama	13.1%
Omogućuje brži plasman proizvoda na tržište	10.2%
Smanjuje potrebu za skladišnim prostorom	8.5%
Poboljšano upravljanje inventarom	8%
Uštede zbog smanjenja manipulacija zalihama	5.7%
Povećana potražnja za JIT uslugama	4.5%
Personalizacija pošiljki	4%
Smanjuje troškove rada	4%
Ostale	8.3%

Izvor: izradio autor prema Saddle Creek Corporation (2011) 2011 Cross-Docking Trends Report.

Dostupno na: <http://www.distributiongroup.com/articles/070111DCMwe.pdf> (pristupano 10.06.2020.)

Isti su ispitanici bili ispitani o zahtjevima za učinkovito provođenje cross docking sustava.

Kao najvažnije naveli su sljedeće:

- Nepredvidljiva potražnja potrošača
- IT sustav podrške
- Promjenjiva dinamika poslovanja
- Pouzdanost dobavljača
- Pouzdanost prijevoznika
- Dizajn objekata
- Postizanje povrata na investiciju
- Podrška menadžmenta
- Nedostatak resursa²²

²² Saddle Creek Corporation (2011) 2011 Cross-Docking Trends Report. Dostupno na: <http://www.distributiongroup.com/articles/070111DCMwe.pdf> (pristupano 10.06.2020.)

Efektivna implementacija cross docking sustava tema je o kojoj su istraživači često raspravljali. Faktori koji su identificirani kao iznimno važni za uspješnu implementaciju navedeni su niže u tablici.²³

Tablica 6. Faktori koji utječu na implementaciju

Autori	Faktori
Apte i Viswanathan (2000)	Uspješno rukovanje
	Uspješan razvoj informacijske tehnologije
	Uspješno korištenje kapaciteta kamiona
	Uspješno korištenje alata i planova dostupnih menadžerima
	Napredni tehnološki sustavi i komunikacijske tehnologije
	Obujam posla u području
	Raspored i dizajn dokova zaprimanja robe i slanja
	Točan i pravovremen protok informacija
	Usluga potrebna za svaki proizvod
	Boysen i Fliender (2010)
Raspored cross dock terminala	
Vrijednost proizvoda	
Van Belle i sur. (2012)	Životni vijek proizvoda
	Udaljenost između proizvođača i kupaca
	Potraživana količina proizvoda

Izvor: Panousopoulou, P. Papadopoulou, E. I Manthou, V. (2010) Cross-Docking A Successful Method in Warehouses: A Case Study of a 3PL Provider. University of Macedonia: Thessaloniki, Grčka

Također u postizanju učinkovitosti cross docking sustava značajno pomaže i uspostava inovacija poput sustava direktnog odgovora na zahtjeve potrošača, masovna personalizacija i dobar odabir lokacije. Za postizanje učinkovitosti poslovanja, iznimno je važna optimizacija cross docking sustava kroz koordinaciju ulaznih i izlaznih kamiona npr. putem automatizirane procedure stvaranja rasporeda.

²³ Panousopoulou, P. Papadopoulou, E. I Manthou, V. (2010) Cross-Docking A Successful Method in Warehouses: A Case Study of a 3PL Provider. University of Macedonia: Thessaloniki, Grčka

2.5. Glavni problemi cross dockinga

U praksi postoji nekoliko glavnih problema vezanih uz uspješno provođenje cross docking sustava. Donošenje dobrih odluka vezanih uz navedene probleme imati će znatan utjecaj na efikasnost cross dockinga. Navedeni problemi zahtijevaju donošenje odluka na sve tri razine: strateškoj, taktičkoj i operativnoj. Odluke o rasporedu dolaznih kamiona, njihovom slijedu i alociranju vrata odnose se na odluke na operativnoj razini koje imaju utjecaj na svakodnevno poslovanje. Problem oblika i rasporeda cross docking terminala podrazumijeva odluke na taktičkoj razini, a odluke o cjelokupnoj cross docking mreži donose se na strateškoj razini. U nastavku će ukratko biti objašnjeni neki od najvažnijih problema cross dockinga.

Alociranje prijemnih vrata

U cross docking sustavu ulazni kamioni stižu do prijemnih vrata terminala s različitim robom koja je prikupljena od različitih dobavljača. Jednom kada je vozilo dodijeljeno dostupnim prijemnim vratima, roba se iskrcava, sortira i premješta do otpremnih vrata radi daljnje isporuke pomoću izlaznih vozila. Zbog velike količine tereta, dinamične prirode rasporeda kamiona, protoka tereta u cross docking centru, rasporeda ulaznih i izlaznih vrata i dodjele odredišta odlaznim vratima, cross docking alociranje vrata predstavlja složeni problem.²⁴

Cilj u vezi s problemom dodjele vrata je pronaći optimalnu metodu dodjele ulaznih i odlaznih kamiona pripadajućim vratima. Minimiziranje putne udaljenosti zajednički je cilj ovog problema.²⁵ Mnoga su istraživanja proučavala problem alokacije prijemnih vrata. To je kritično pitanje jer određuje kratkoročno i srednjoročno planiranje u cross docking operacijama. Dobra alokacija prijemnih vrata direktno će utjecati na operacije i omogućiti učinkovitiji rad.²⁶ Dobro alociranje vrata može značajno smanjiti kašnjenje. Također, minimizira operativno vrijeme potrebno za prijenos dobara s jednih na druga vrata. Uz navedeno, smanjuje operativne troškove poput troškova rukovanja unutar terminala uključujući i troškove radnika i potrebne opreme.²⁷

²⁴ <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.902.1788&rep=rep1&type=pdf> (pristupano 12.06.2020.)

²⁵ <http://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/121.pdf> (pristupano 12.06.2020.)

²⁶ <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/9717> (pristupano 12.06.2020.)

²⁷ <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.902.1788&rep=rep1&type=pdf> (pristupano 12.06.2020.)

Slijed dolazaka kamiona

Za razliku od problema s alokacijom prijemnih vrata, postoji još jedan problem vezan uz redoslijed vozila bez razmatranja rasporeda vozila prema vratima. U slučaju problema sa sekvenciranjem kamiona, točna lokacija vrata se ne uzima u obzir, a problem se usredotočuje na redoslijed kojim se kamioni obrađuju na vratima. Minimiziranje zaliha zajednički je cilj ovog problema, a razina zaliha je također važan aspekt²⁸

Raspored dolaska kamiona

Problem rasporeda kamiona sličan je problemu određivanja slijeda dolaska vozila. Međutim, u slučaju problema s rasporedom vozila, dimenzija vremena se izričito modelira eksplicitnim određivanjem vremena dolaska i odlaska, a ne redoslijedom dolaska kamiona. Minimiziranje ukupno potrebnog vremena za obavljanje cross docking aktivnosti zajednički je cilj ovog problema; istodobno su svaka odstupanja u vremenu obrade kamiona i pređenoj udaljenosti također važni aspekti.²⁹

Problem oblika

Dizajn cross docka se može interpretirati kao njegove dimenzije i oblik uključujući i dimenzije, oblik i raspored unutarnjih prostora cross docka.³⁰ Cross docking objekti mogu biti različitih oblika. Najčešći oblici su L, I, T, ali se mogu pronaći i oblici poput U, E, H. Dobar dizajn cross docka je vrlo važan jer će značajno utjecati na učinkovitost operacija unutar cross docking terminala. Kada se donosi odluka o obliku cross docka vrlo je važno u obzir uzeti i problem alociranja vrata pošto navedeni problem direktno utječe na tok materijala unutar cross docka. Cilj odabira dobrog oblika cross docka je minimizirati trošak tako da se minimizira vrijeme prijevoza, rukovanje materijalom i zagušenje na ulaznim i izlaznim vratima.³¹ Istraživanje provedeno 2004. godine pokušalo je utvrditi najbolji oblik cross dock terminala. Istraživanje je pokazalo da će veličina cross docka utjecati na odluku o najboljem obliku. Ako se veličina cross docka povećava (raste broj vrata) onda su najbolji oblici za cross-dock I, T i X.³²

²⁸ <http://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/121.pdf> (pristupano 12.06.2020.)

²⁹ <http://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/121.pdf> (pristupano 12.06.2020.)

³⁰ Vacas de Carvalho Silva Pereira, M. (2016) Restructuring of Logistics Processes: Case Study of Cross-Docking Operations at Warehouse AZ1 of Grupo Luis Simoes, Tecnico Lisboa

³¹ <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/9717> (pristupano 12.06.2020.)

³² <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/9717> (pristupano 12.06.2020.)

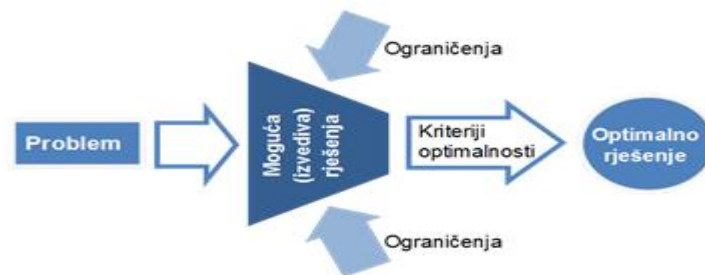
Broj i širina dokova

Optimalan broj ukrcajnih/iskrcajnih dokova varira u odnosu na protočnost cross docking sustava. Veći logističko distribucijski centri teže za većim brojem dokova kako bi omogućili povećanje kapaciteta prijema i otpreme robe, veći broj dokova zahtjeva veći broja radnika kako bi se mogao preuzet ili ukrcati teret, ili određen stupanj automatizacije unutar logističko distribucijskog centra. Kako bi se odredio optimalan broj ukrcajnih/iskrcajnih dokova, analizira se očekivani broj kamiona koji dolaze na ukrcaj/iskrcaj te vrijeme zadržavanja kamiona na dokovima pri obavljanju manipulacija. Određivanje broja prijavnih dokova također ovisi o konfiguraciji cross docking terminala, odnosno da li ima dovoljno prostora za raspoređivanje paleta i obavljanja usluga dodatnih vrijednosti kao što je pakiranje ili označavanje. U slučaju gdje se obavljaju usluge dodatnih vrijednosti, jedna strana terminala zadužena je za prijem robe, a druga za otpremu robe. *Less-than-truckload* ili LTL cross docking sustavi uglavnom ne obavljaju usluge dodatnih vrijednosti te se broj prijavnih dokova računa Little-ovim zakonom (množenje potrebne propusnosti s prosječnim vremenom iskrcaja).

Rješenje, odnosno broj dokova mora omogućiti prijem maksimalnog broja kamiona, s minimalnim zadržavanjem, odnosno pokušati eliminirati prazni hod (čekanje u slučaju većeg broja kamiona u odnosu na broj dokova, manjak radne snage i slično). Kako bi se smanjio broj dokova logističko distribucijskih centara koji imaju samo jednu stranu terminala zaduženu za manipulacije iskrcaja i ukrcaja, u jutarnjim satima se vrši iskrcaj robe, a poslije podne se vrši ukrcaj kako bi se do kraja dana opskrbili završni čvorovi. Širina dokova je također bitna, jer se ukrcaj tereta ne obavlja odmah kad teret stigne u zonu otpreme. Ako je prostor premalen, dokovi ubrzo postanu zagušeni te se smanjuje cjelokupna protočnost cross docking sustava. Stoga se u praksi, prostor ispred dokova isključivo koristi za pohranu tereta koji prolazi tim dokom, a time se definira i širina doka, ovisno o tipu tereta, broju postaja po vozilu i broju paleta.

3. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MATEMATIČKOG MODELA U RJEŠAVANJU LOGISTIČKIH PROBLEMA

Većina problema u logistici javljaju se u transportu i drugim logističkim procesima opskrbnog lanca te se mogu svesti na probleme optimiranja. Pod probleme optimiranja se podrazumijeva da imaju više izvedivih rješenja te treba odabrati ono koje je prema usvojenom kriteriju optimalnost najbolje, uvažavajući postavljena ograničenja; primjerice izbor transportnog puta, načina transporta, lokacija infrastrukturnih objekata u transportnoj mreži i slično. Problemi optimiranja efikasno se mogu rješavati primjenom linearnog programiranja, no to ne znači da se svi problemi mogu rješavati optimiranjem.



Slika 4. Proces optimiranja

Izvor: Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

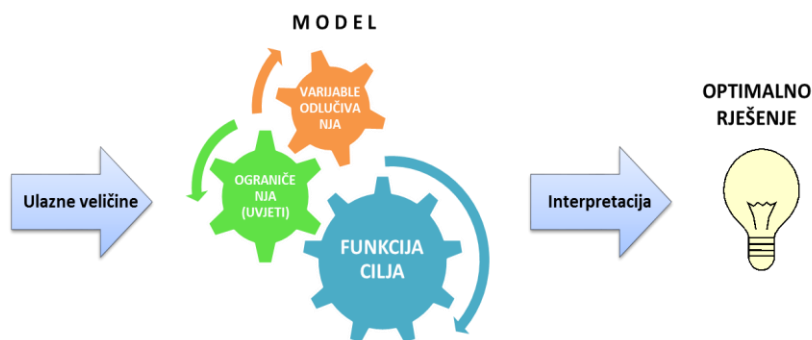
Unutar procesa optimiranja, prvo se generiraju moguća (izvediva) rješenja te se stavljaju pod određena ograničenja, zatim se prema kriterijima optimalnosti eliminiraju dok se ne dobije optimalno rješenje kao što je prikazano na slici 4. Optimiranje je određivanje skupa vrijednosti varijabli odlučivanja (promjenivih veličina) kojim se postiže optimalna vrijednost funkcije cilja (maksimalna ili minimalna), uz zadana ograničenja (uvjete). Svrha optimiranja je maksimizirati korisnost, odnosno minimizirati utrošak resursa, uz zadana ograničenja. Funkcija cilja je matematički opis postavljenog cilja, a ograničenja određuju skup mogućih ili izvedivih rješenja, odnosno kvantitativno područje dopuštenih vrijednosti varijabli odlučivanja. Optimalno rješenje je najbolje (najpovoljnije) rješenje promatranog problema s obzirom na zadana ograničenja i postavljeni kriterij optimalnosti. Kriterija optimalnost može biti više, ovisno o promatranom problemu, a može biti minimizacija ili maksimizacija, odnosno minimizacija jednih veličina uz istodobnu maksimizaciju drugih veličina. Primjer tome može biti:

- određivanje plana proizvodnje tako da se ostvari najveća dobit,
- raspored posla tako da se utroši najmanje radnog vremena,
- odrediti raspored dostave tako da transportni troškovi budu minimalni,
- odrediti lokacije i kapacitet LDC-a tako da potražnja bude zadovoljena, a troškovi distribucije minimalni ³³

3.1. Definiranje modela

Model se općenito definira kao predložak, obrazac, uzorak, prikaz, plan ili opis stvarnog predmeta, pojave, stanja, zbivanja, sustava ili koncepta; odnosno model je pojednostavljeni sažetak stvarnosti koji pomaže u daljnjem istraživanju. Prednost rada s modelom umjesto sa stvarnim sustavom je najizrazitija u slučajevima kada je promjena stvarnog sustava nemoguća (astronomija), nedopustiva (medicina), dugotrajna ili vrlo skupa (industrija, transport). Modeli se dijele prema načinu opisivanja problema :

- Fizički modeli, metrička transformacija, statički prikaz (maketi, globus, model građe atoma i slično)
- Analogni modeli, sličan skup relevantnih karakteristika, dinamični prikaz (laboratorijske životinje, mehanizmi, grafikoni, crteži..)
- Apstraktni modeli, široko područje primjene (uporaba simbola, matematički izrazi, riječi, znakovi i slično)



Slika 5. Matematički model

Izvor: Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

³³ Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Pri izradi matematički modela (slika 5) definiraju se ulazne veličine koje su konstantne, unutar modela definira se funkcija cilja (kriteriji optimalnosti; minimalna ili maksimalna), ograničenja (sustav linearnih/nelinearnih jednadžbi i/ili nejednadžbi), varijable odlučivanja (nenegativne, realne, cjelobrojne i binarne).

Matematički modeli se mogu klasificirati na više načina:

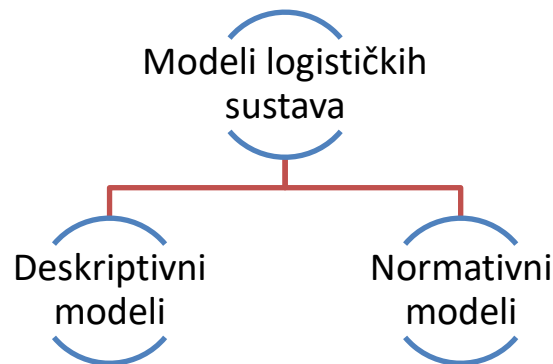
- prema namjeni
 - optimizacijski modeli, primjenjuju se u cilju postizanja maksimalne ili minimalne vrijednosti neke veličine (maksimizacija dobiti, efikasnosti; odnosno minimizacija troškova, vremena..)
 - modeli predviđanja, primjenjuju se u cilju opisivanja i predviđanja stanja (događaja) koja se očekuju pod određenim uvjetima (predviđanje potražnje, rokova ispunjenja pojedinih operacija..); podatci dobiveni predviđanjem stanja mogu se koristiti kao ulazni parametri za optimizacijski model
- prema promjeni stanja
 - deterministički model, ulazni podatci i relacije između sastavnih elemenata su unaprijed određeni (poznati) i ne mijenjaju se unutar promatranog područja odnosno razdoblja
 - stohastički ili probabilistički modeli, ulazni podatci ili relacije su podložni određenoj razdiobi vjerojatnosti

Matematički modeli koji se primjenjuju u rješavanju logističkih problema, s obzirom na pristup i tehniku rješavanja mogu se svrstati u tri skupine:

- Optimizacijski modeli, pronalaženje najboljeg (optimalnog) rješenja u skupu izvedivih rješenja s obzirom na kriterij optimalnosti u skladu sa zadanim ograničenjima. Podrazumijeva se analitička formulacija problema i primjena programskog alata.
- Simulacijski modeli, temeljem izrade konceptualnog modela i formulacije problema u sučelju simulacijskog programskog alata (ARENA, ARIS, FlexSim) omogućuju provedbu simulacijskih eksperimenata (What-If Analysis)
- Tablični modeli, usporedba alternativnih rješenja primjenom tabličnog kalkulatora (Excel); prikladni za probleme malih dimenzija

Modeliranje je proces važan uz način ljudskog razmišljanja (identificiranje problema, analiza problema, rješavanje problema) te se primjenjuju sljedeće metode:

- Analitičke metode, modeli i rješenja su u analitičkom obliku (zavisne varijable kao funkcije nezavisnih)
- Numeričke metode, rješavanje numeričkim (iterativnim) postupcima; modeli su u analitičkom obliku, ali se ne može dobiti analitičko rješenje
- Simulacijske metode, za prikaz problema koristi se konceptualni model, a rješenje se dobiva numerički, provođenjem eksperimenata na računalnom modelu

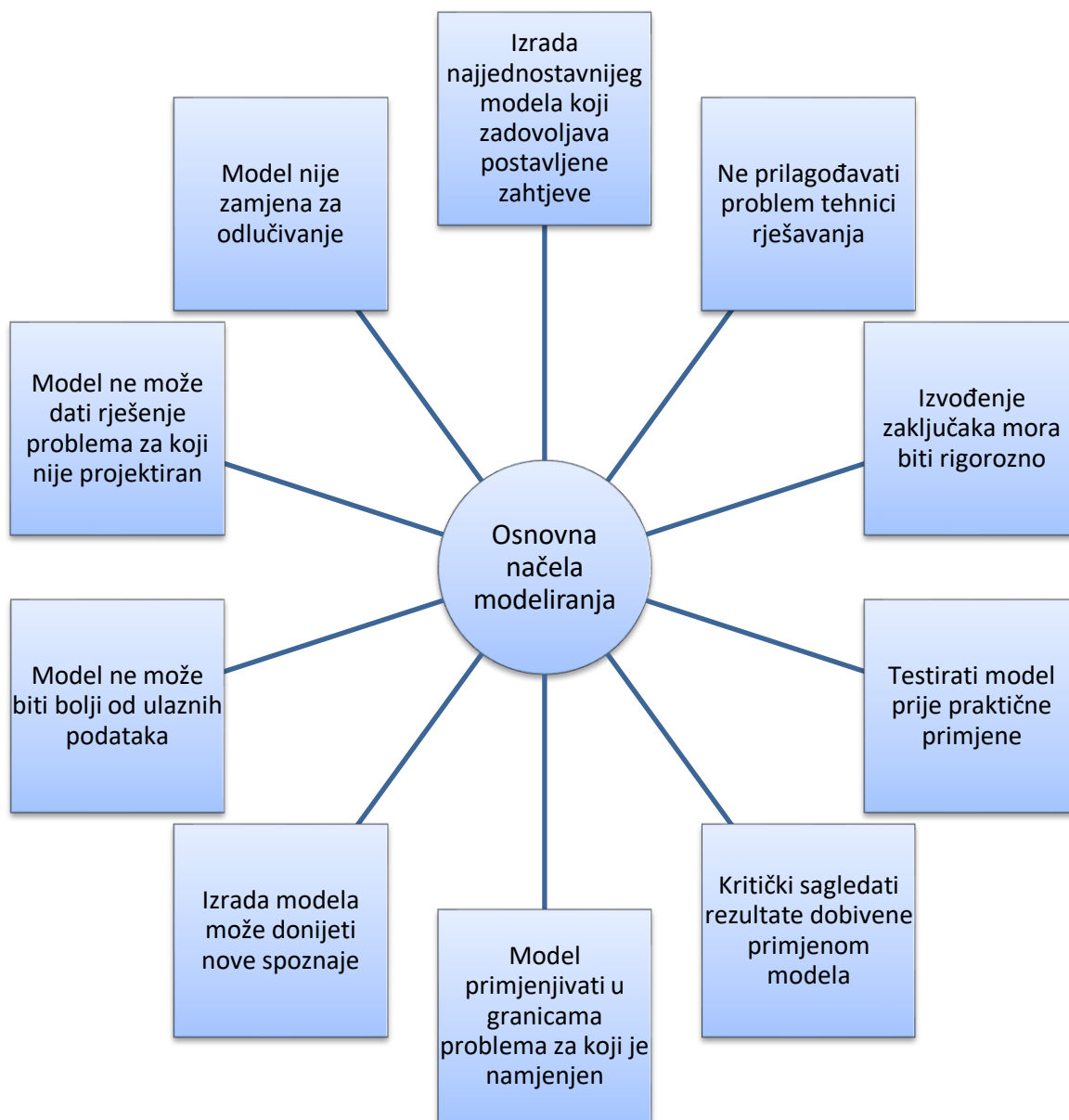


Slika 6. Modeli logističkih sustava

Izvor: Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Slika 6 prikazuje modele logističkih sustava koji se dijele na deskriptivne i normativne modele. Deskriptivni modeli su usmjereni na omogućavanje boljeg razumijevanja načina na koji djeluje promatrani realni sustav. Primjenjuje se u svrhu opisivanja, analiziranja i objašnjavanja funkcionalnih odnosa elemenata sustava, a uključuje opisivanje logističkih procesa (aktivnosti, resursi..) u transportnim i skladišnim sustavima, opisivanje i objašnjavanje međuzavisnosti odvijanja proizvodnih aktivnosti i trošenja resursa, te simuliranje funkcioniranja opskrbnog lanca ili samo određenog dijela, kao funkcije njegovih parametara. Normativni modeli čine matematički modeli operacijskih istraživanja, odnosno kvantitativni modeli. Pojam normativni se odnosi na definiranje kvantitativnih vrijednosti varijabli, odnosno propisivanje norme koja se želi postići. Primjenjuju se u sklopu projektiranja, provedbe, odnosno poboljšavanja logističkih sustava. Izrada matematičkog modela podrazumijeva postojanje deskriptivnog modela i relevantnih podataka kao ulaznih veličina, a njihova kvaliteta izravno utječe na kvalitetu rješenja dobivenog optimizacijom.³⁴

³⁴ Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.



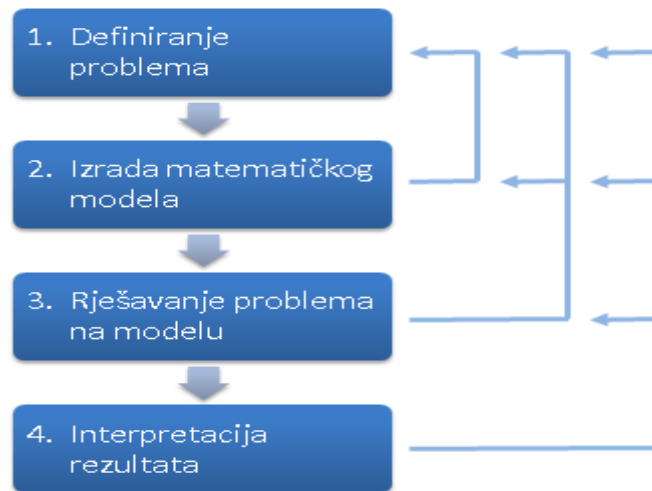
Slika 7. Osnovna načela modeliranja

Izvor: Auto izradio prema Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Slika 7 prikazuje osnovna načela modeliranja prema kojem se izrađuje model, odnosno navedena načela ograničavaju model te ga definiraju.

3.2. Rješavanje problema primjenom matematičkog modela

Rješavanje problema primjenom matematičkih modela sastoji se od četiri osnovna koraka (slika 8.). Rješavanje problema matematičkim modeliranjem rijetko kada prolazi kao jednosmjernan sekvencijalni proces te zahtjeva revidiranje, izmjene nekih pretpostavka ili ulaznih podataka, radi postizanja veće sličnosti s predmetom modeliranja .



Slika 8. Proces matematičkog modeliranja

Izvor: Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

Mnogi logistički problemi (problem alociranja resursa, transportni problem, lokacijski problem..) mogu se svesti na probleme optimizacije koji se efikasno rješavaju pomoću modela linearnog programiranja. Da bi se primijenio ovakav pristup koriste se sljedeće pretpostavke:

- traži se maksimum ili minimum funkcije cilja,
- varijable odlučivanja (argumenti funkcije cilja) međusobno su neovisne, a njihov je utjecaj na vrijednost funkcije cilja zbrojiv,
- relacije između vrijednosti funkcije cilja i varijabli odlučivanja, kao i relacije ograničenja izražene su linearnim jednadžbama ili nejednadžbama,
- ulazni podatci su konstante, definirane s određenom točnošću.³⁵

³⁵ Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014

Varijable odlučivanja u linearnim modelima su kontinuirane, a s obzirom da neki problemi zahtijevaju cjelobrojne ili binarne varijable, primjenjuju se sljedeće opcije:

- koriste se kontinuirane varijable, a kod interpretacije rezultata dopušteno je zaokruživanje (realni -> cijeli brojevi) jer su vrijednosti dovoljno velike da pri odstupanju ne nastaje velika razlika, i time ne predstavljaju grešku,
- neke od varijabli odlučivanja moraju biti cjelobrojne i/ili binarne, dok za ostale ne postoji ograničenje, te se koriste cjelobrojne odnosno binarne (diskretne varijable), a takvi modeli se nazivaju „Modeli mješovitog cjelobrojnog programiranja“, eng. Mixed Integer Programming Models (MIP Models),
- ako su sve varijable odlučivanja cjelobrojne, odnosno binarne tada se primjenjuju „Modeli binarnog cjelobrojnog programiranja“, eng. Binary Integer Programming Models (BIP Models).

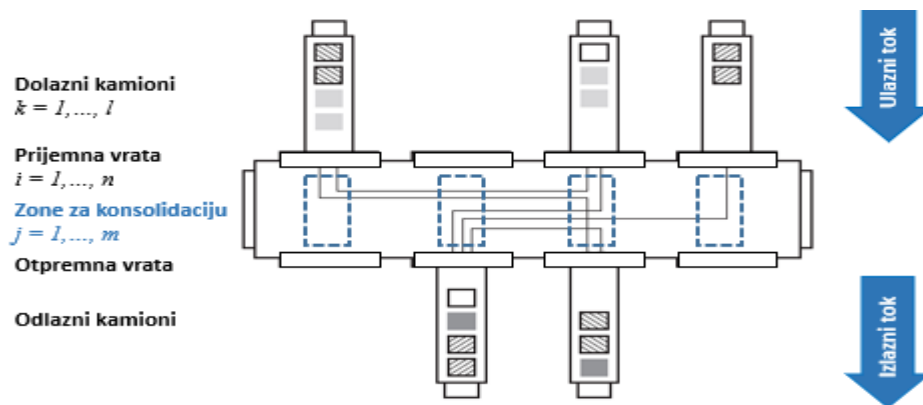
3.3. Problem alokacije resursa

Problem alokacije resursa predstavlja problem logističkih procesa u transportu. U realnim transportnim sustavima resursi su ograničeni, te ih stoga treba optimalno alocirati. Primjer problema alokacije resursa:

- za distribuciju robe potreban je odgovarajući kapacitet logističko distribucijskih centara (skladišni prostor i oprema, prekrcajna mehanizacija, radna snaga..),
- za prijevoz robe potreban je odgovarajući kapacitet voznog parka, transportnog sustava, kapaciteta (nosivosti),
- volumen i struktura proizvodnje ograničena je raspoloživom radnom snagom i/ili opremom (kapacitetom proizvodnih linija),
- ograničenja opreme u određenom dijelu proizvodne linije stvaraju usko grlo,
- ograničena količina određenog sastojka, sirovine ili repromaterijala,
- radi racionalizacije skladišnih operacija potrebno je napraviti optimalan raspored dolaznih kamiona po prijemnim vratima cross docking terminala,
- priprema robe za dostavu u zadanom roku zahtijeva odgovarajući broj radnika, materijala za pakiranje, prostora za manipulacijske radnje

Rješenje problema alokacije resursa, očituje se optimalnom alokacijom ili dodjelom raspoloživih resursa tako da ukupni rezultat cjelokupnog sustava bude najbolji. Kako zbog nedostatnih resursa nije uvijek moguće zadovoljiti potrebe svih logističkih procesa, procesi koji manje pridonose ukupnom rezultatu *žrtvuju se* korist onih koji pridonose više, ali samo do te mjere da funkcioniranje cjeline sustava ne bude ugroženo.³⁶ Takav način rješavanja problema alokacije resursa, primjenjuje se pri alociranju prijemnih vrata cross docking terminala. Alokacija prijemnih vrata (slika 9) se svodi na slijedeće parametre:

- dodjeljivanje prijemnih vrata dolaznim kamionima,
- iskrcaj robe na dokove, te daljnje preusmjerenje na *picking zonu*,
- manipulacije robom, te premještanje na otpremnu zonu,
- te ukrcavanje robe na odlazne kamione.



Slika 9. Alociranje prijemnih vrata cross docking terminala

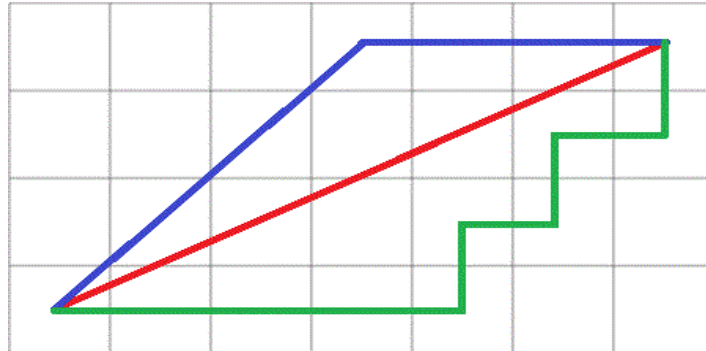
Izvor: Pašagić Škrinjar J., Nastavni materijali iz kolegije „Prijevozna logistika II“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Kako bi se odredio optimalan raspored dolaznih kamiona i prijemnih vrata, računa se pravokutna udaljenost (eng. Manhattan distance, Taxicab distance). Pravokutna udaljenost d_1 između dva vektora $p = (p_1, \dots, p_n)$ i $q = (q_1, \dots, q_n)$ u n -dimenzionalnom vektorskom prostoru određena izrazom (1):

$$d_1(p, q) = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (1)$$

³⁶ Pašagić Škrinjar J., Nastavni materijali iz kolegije „Prijevozna logistika II“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Manhattan ili Taxicab distance označuje najkraći put između dvije točke, koji nije pravac. Slika 10 prikazuje najkraći način povezivanja dvije točke (linije plave i zelene boje), a da nije pravac (linija crvene boje).

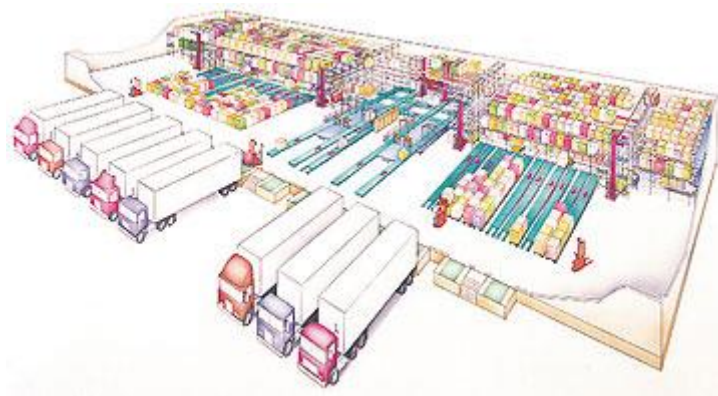


Slika 10. Manhattan, taxicab distance

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Green-line-Manhattan-distance-Red-line-euclidean-distance-Blue-line-equivalent-to-8_fig2_320620251 (pristupano 14.06.2020.)

4. ANALIZA SUSTAVA CROSS DOCKINGA LOGISTIČKOG CENTRA

U ovom radu, analiziran je cross docking sustav logističko distribucijskog centra. Logističko distribucijski centar nalazi se unutar gravitacijske zone grada Zagreba, s toga je položaj povoljan za distribuciju, te gravitira, odnosno privlači različite korisnike. Položaj logističko distribucijskog centra je dobro povezan s ostatkom Hrvatske, te se distribucijski proces vrši prema svim dijelovima zemlje. Objekt gdje se provodi proces cross docking sustava, sastoji se od 6 ukrcajnih/iskrcajnih dokova, odnosno vrata, gdje se vrši prijem i otprema robe. Primjer takvog dizajna terminala prikazan je na slici 11.

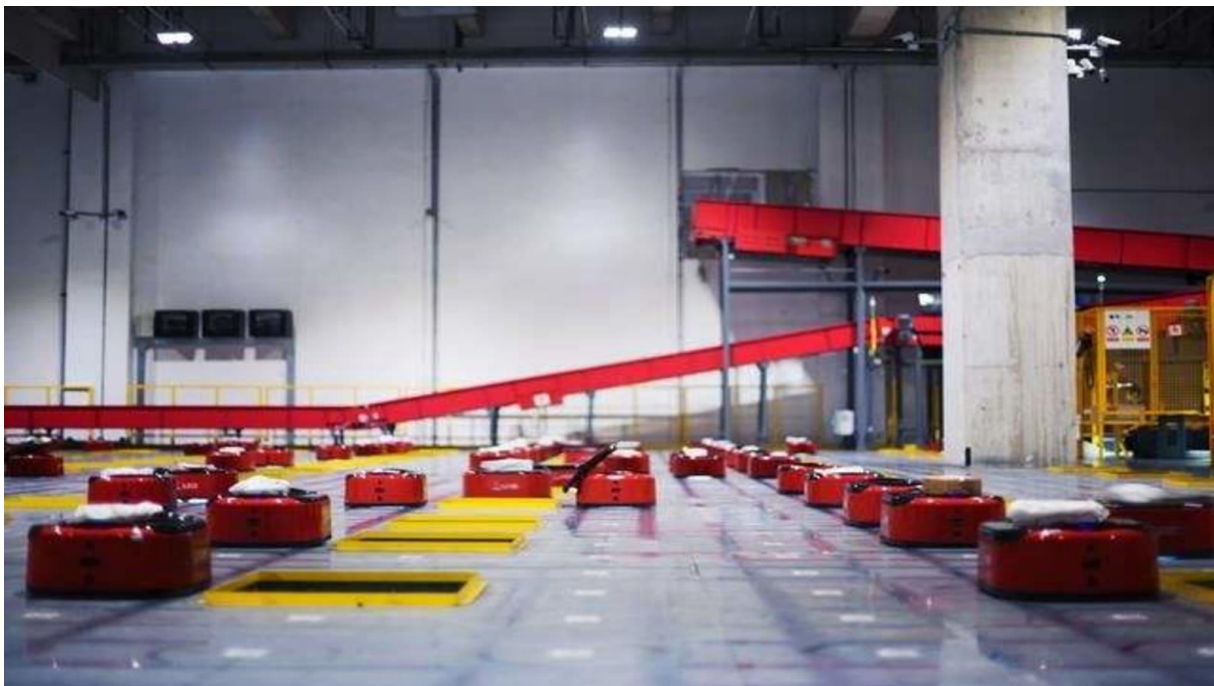


Slika 11. Ukrcajni/iskrcajni dokovi

Izvor: <https://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=2374> (pristupano 26.06.2020)

Logističko distribucijski centar u dogovoru s dobavljačima organizira dnevno različit raspored za prijem robe kako bi se izbjegao prazan hod kamiona (čekanje na iskrcaj, zauzeti dokovi). Deset različitih dobavljača je zaduženo za dolazak na dokove u danim terminima, od 07:00 do 10:00, kako bi se iskrncani teret mogao sortirati za različite centre, spremite u posebne komore u slučaju da je teret osjetljiv na temperaturne razlike, te kako bi do 12:00 iskrncani teret bio spreman za ukrcaj i daljnju otpremu. Pri određivanju optimalnog broja dokova, također je potrebno imati dovoljan broj radnika na prijemu ili određen stupanj mehanizacije unutar cross docking sustava kako je navedeno u prethodnom tekstu. Logističko distribucijski centar ima deset zaposlenih radnika na prijemu/otpremi, što je nedovoljno u slučaju dolaska maksimalnog broja kamiona. Za prijem robe potrebna su dva radnika, jedan za iskrcaj na *picking* zonu, a

drugi za skeniranje ulazne robe na stanje. Tako u slučaju dolaska šest kamiona, nastaje problem jer nema dovoljnog broja radnika kako bi se obavljale manipulacije iskrcaja i skeniranja. Ovakav problem se najlakše rješava povećanjem broja radnika unutar cross docking sustava, ali povećanjem broja radnika povećava se trošak radne snage, te shodno s time smanjuje se profit logističko distribucijskog centra. Drugi način rješavanja ovakvog problema je moderniziranjem cross docking sustava, odnosno uvođenjem *autonomnih skenera* (slika 14, primjer automatskog skenera), autonomnih viličara (slika 13) i *pick up* robota (slika 12). Moderniziranjem cross docking sustava, odnosno povećanjem stupnja autonomnosti skladišta ubrzavaju se manipulacijski procesi cross docking sustava, te cjelokupni distribucijski proces logističko distribucijskog centra. No, implementacija ovakvih jedinica u sustav zahtijeva veliki kapital, stoga se autonomna skladišta, modernizirani cross docking sustavi većinom koriste u najvećim svjetskim tvrtkama, gdje je takav sustav neophodan za normalno funkcioniranje poslovanja.



Slika 12. *pick up* roboti

Izvor:

<https://image.cnbcfm.com/api/v1/image/1055307281540489171254jd6.jpeg?v=1540489174&w=1600&h=900>

(pristupano 14.06.2020)



Slika 13. Autonomni viličar

Izvor: <https://www.still.hr/2530+M56a3962af79.0.0.html> (pristupano 14.06.2020)



Slika 14. Robotska ruka, skeniranje

Izvor: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5845805/Chinese-e-commerce-company-JD-com-running-nearly-autonomous-warehouse.html> (pristupano 14.06.2020)

Logističko distribucijski centar koristi miješani model distribucije, odnosno kombinira modele BBxD-a i PPxD-a. Većinom roba koja se preuzima, mora se sortirati prema različitim zonama, centrima, što znači da prevladava BBxD model distribucije. No, u dogovoru s dobavljačem, također se koristi model PPxD-a, gdje se roba nakon preuzimanja, postavlja na otpremnu zonu. PPxD je mnogo jednostavniji i brži model, pošto se roba samo prosljeđuje prema zoni otpreme. Nažalost nije učestao model, zbog ogromne potražnje za raznolikim proizvodima. Uz korištenje dva modela distribucije, logističko distribucijski centar također koristi regale unutar skladišta za pohranu tereta, teret koji se pohranjuje na regale naziva se *central stock*, odnosno roba s centralnog skladišta. Nakon prijema i skeniranja, roba se stavlja na *picking zonu* koja se nalazi između dokova i zone otpreme, te se zatim pregledavaju narudžbe kupaca i sortira se roba s *picking zone* na izlazne pravce. Izlazni pravci su zone otpreme za određena mjesta (Split, Osijek, Dubrovnik..), odnosno centre prema kojima se vrši isporuka robe. Problem logističko distribucijskog centra nastaje zbog položaja dokova, odnosno jer se iskrcaj i ukrcaj vrši na istoj strani terminala. Takav način, u slučaju dolaska maksimalnog broja kamiona na prijemna vrata, uzrokuje zagušenje na dokovima, odnosno smanjuje se protok cross docking sustava. Problemi nastaju kada nema dovoljno mjesta za prijem robe, zbog manjka radnika, nemogućnost preuzimanja robe od dobavljača dok se ne finaliziraju određene manipulacije, te se na taj način uzrokuje prazan hod kamiona na prijemnim vratima, te se također smanjuje protočnost na prijemnim vratima/dokovima što usporava cjelokupni proces distribucije. Jedan od načina rješavanja navedenih problema je preuzimanjem što većeg broja PPxD-a, što bi značajno smanjilo procese na prijemnim vratima, nuliralo bi manipulacijske procese u *picking zoni* te omogućilo manji broj zaposlenih radnika na cross docking sustavu. Shodno tome, cijeli distributivni proces bi bio produktivniji i efikasniji. Također modificiranjem terminala (slika 15), odnosno odvajanjem iskrcajnih i ukrcajnih procesa na različite strane, povećao bi se prostor za manipulacijske procese unutar skladišta, smanjila bi se moguća zagušenja na dokovima, te u slučaju nepoštivanja termina dobavljača nulirala bi se mogućnost paralelnih operacija ukrcaja i iskrcaja.



Slika 15. Cross docking terminal sa različitim stranama iskrcaja/ukrcaja

Izvor: <https://eurekapub.eu/productivity/2013/09/14/is-cross-docking-the-ultimate-panacea> (pristupano 10.06.2020)

Raznolikost proizvoda koji se distribuiraju, osim što smanjuju mogućnost PPxD distribucije, također zahtijevaju specifične način pohrane, u slučaju da se radi o prehrambenim proizvodima i slično. Iz te potrebe, logističko distribucijski centar, pri prijemu robe također koristi komore koje su na određenim temperaturama. Tri različite komore se nalaze unutar skladišta, jedna je za proizvode koji zahtijevaju temperaturu od 8 do 12 Celzijevih stupnjeva, druga za proizvode koji zahtijevaju temperature od 4 do 8 stupnjeva te posljednja temperature od 2 do 4 Celzijeva stupnja. Te komore služe za kratkoročnu pohranu proizvoda do početka ukrcaja robe za daljnju otpremu. Primjer takvih komora prikazan je na slici 16.



Slika 16. Komora za ribu

Izvor: <http://www.rema.hr/product/6778/rashladne-komore-za-ribu> (pristupano 14.06.2020)

Vozni park logističko distribucijskog centra se sastoji od desetak kamiona zaduženih za opskrbu grada Zagreba, odnosno bliže okolice cross docking sustava. Distribucija udaljenijih lokacija vrši se *outsourcanjem* različitih prijevoznika, u svrhu veće profitabilnosti logističkog centra. Analizom logističko distribucijskog centra uočavaju se problemi:

- manjak radnika unutar XD sustava,
- zagušenost na dokovima,
- loša koordinacija odjela najave i cross dockinga,
- slaba razina automatizacije,
- jedna strana zadužena za manipulacije iskrcaja i ukrcaja.

5. UNAPRIJEĐENJE POSTOJEĆEG SUSTAVA CROSS DOCKINGA OPTIMIRANJEM ALOKACIJE PRIJEMNIH VRATA

Prethodno navedenom analizom sustava logističko distribucijskog centra prikazani su trenutni problemi koji se odnose na zagušenja dokova, prazan hod dolaznih vozila, nedostatak radne snage i slično. Rješenje problema se očituje na više načina, a jedan od njih je optimiranjem alokacije prijemnih vrata. U nastavku prikazan je deskriptivni i matematički model zadanog problema, te postupak rješavanja problema alokacije prijemnih vrata logističko distribucijskog centra.

5.1. Deskriptivni model alokacije prijemnih vrata

Problem alokacije resursa može se opisati na dva načina: deskriptivnim i matematičkim modelom. Deskriptivni model predstavlja opis problema, odnosno unutar njega se postavlja funkcija cilja (element koji se teži smanjiti ili povećati kako bi se poboljšao cjelokupni proces), određuju se ograničenja koja imaju ulogu reducirati velik broj rješenja, te smanjiti matematičke radnje pri traženju optimalnog rješenja, te ulazni podatci koji opisuju zadane parametre predstavljenog problema.

Funkcija cilja:

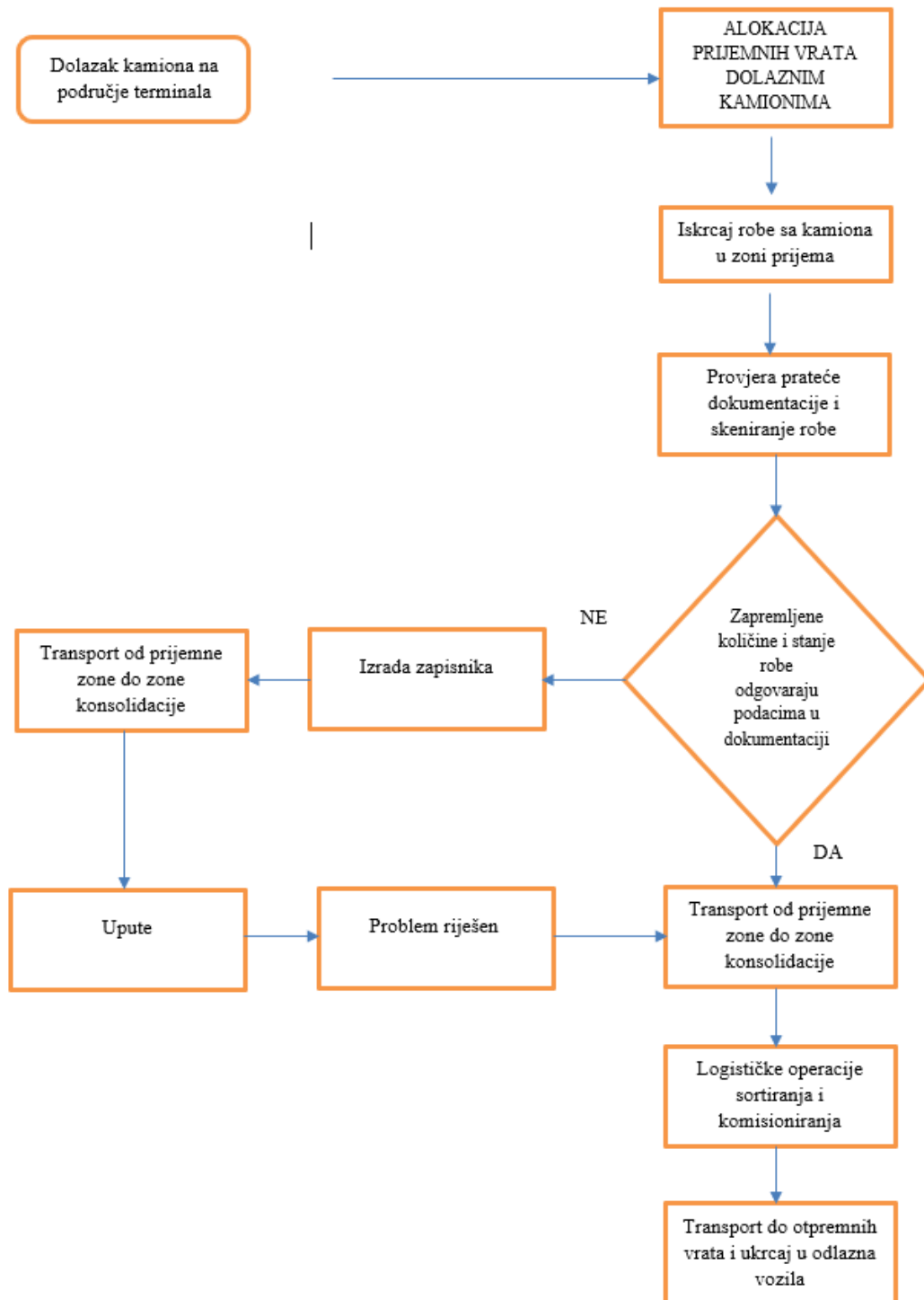
Minimizacija rada na prekrcajnim manipulacijama (suma produkata količine robe q_{kj} i udaljenosti d_{ij}).

Ograničenja:

1. Svakom dolaznom kamionu moraju biti dodijeljena prijemna vrata,
2. Svaka prijemna vrata mogu biti dodijeljena samo jednom ili niti jednom kamionu.

Ulazni podatci:

- broj kamiona l ,
- količine roba u pojedinom dolaznom kamionu za pojedine zone konsolidacije q_{kj} ,
- broj prijemnih vrata n ,
- broj zona otpreme m ,
- udaljenosti od prijemnih vrata do zona otpreme d_{ij} .



Slika 17. Dijagram toka cross docking procesa

Izvor: Autor izradio prema Pašagić Škrinjar J., Nastavni materijali iz kolegije „Prijevozna logistika II“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

Slika 17 prikazuje cross docking procese od dolaska kamiona, alokacije prijemnih vrata, manipulacije robom, sortiranja i komisioniranja do otpremne zone i transporta odlaznih kamiona.

5.2. Matematički model alokacije prijemnih vrata

Nakon postavljanja, odnosno opisivanja zadanog problema (funkcija cilja, ograničenja, ulazni podatci), tekstualno zadani parametri se matematički opisuju.

Funkcija cilja dana je izrazom(2):

$$\min F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l q_{kj} * d_{ij} * x_{ki} \quad (2)$$

Ograničenja su dana izrazima (3), (4), (5) i (6):

- svakom kamionu dodijeljena su jedna vrata

$$\sum_{i=1}^n x_{ki} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (3)$$

- svakim vratima dodijeljen je jedan ili niti jedan kamion

$$\sum_{k=1}^l x_{ki} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (4)$$

- varijabla odlučivanja x_{ki} je binarna:

$$x_{ki} \in \{0,1\} \quad \forall k, i \quad (5)$$

- broj vrata veći je ili jednak broju kamiona

$$n \geq l \quad (6)$$

Ulazni podatci:

q_{kj} = količina robe iz kamiona k za zonu j

d_{ij} = pravokutna udaljenost od vrata i do zone otpreme j

x_{ki} = varijabla odlučivanja: kamion $k \rightarrow$ vrata i

n = broj vrata

m = broj zona otpreme

l = broj kamiona

5.3. Postupak rješavanja problema na matematičkom modelu

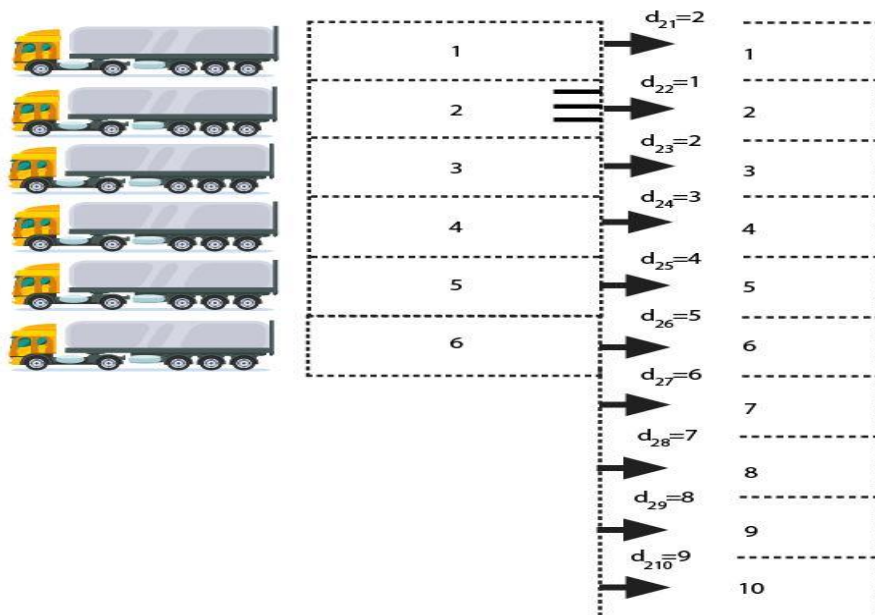
Nakon matematičkog zapisa ulaznih podataka, ograničenja i funkcije cilja, koristi se program Microsoft Excel kako bi se najlakše zapisao i riješio problem. Prikazani podatci su stvarni podatci logističko distribucijskog centra. Prvo se zapiše raspored kamiona (dobavljača) sa količinom robe (Q) koje imaju prema centrima, odnosno zonama otpreme (Jankomir, Sesvete, Rijeka..) kao što je prikazano na tablici 7.

Tablica 7. Količina robe po kamionima (Q)

Kamion	Količina robe po kamionima (Q)											Ukupno paleta
	Jankomir	Sesvete	Rijeka	Osijek	Zadar	Split	Varaždin	Poreč	Dubrovnik	Pula		
1	4	3	8	0	0	3	3	8	2	1	32	
2	0	0	9	4	4	2	6	4	3	0	32	
3	1	6	6	0	2	0	4	0	4	9	32	
4	6	5	12	0	5	0	0	2	0	3	33	
5	7	5	6	2	0	0	0	4	4	3	31	
6	0	0	1	6	15	4	0	0	4	0	30	
	18	19	42	12	26	9	13	18	17	16		

Izvor: Autor izradio

Nakon zadanih količina robe po kamionima, računa se pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zona otpreme (d_{ij}). Izračun se radi na vrlo jednostavan način, tako da se računa udaljenost od vrata x od zone otpreme y kao što je prikazano na slici 18.



Slika 18. Pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zona otpreme

Izvor: Autor izradio prema Pašagić Škrinjar J., Nastavni materijali iz kolegije „Prijevozna logistika II“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

U slučaju logističko distribucijskog centra, broj dokova/prijemnih vrata je šest, a broj zona otpreme je deset, odnosno broj centara prema kojima se izvozi roba. U tom slučaju izračun je prikazan na tablici 8.

Tablica 8. Pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zona otpreme

od / do	Pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zone konsolidacije (d_{ij})									
	Jankomir	Sesvete	Rijeka	Osijek	Zadar	Split	Varaždin	Poreč	Dubrovnik	Pula
V1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V3	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8
V4	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7
V5	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
V6	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5

Izvor: Autor izradio

Otpremne zone Poreč, Varaždin, Dubrovnik, Pula su smještene na najudaljenije pozicije iz razloga što se najmanje robe otprema za te centre (po godišnjem prosjeku). Primarne otpremne zone su smještene u blizini dokova, tako da se maksimalno reduciraju manipulacije robom. Nakon zadanih vrijednosti količine robe po kamionima i pravokutne udaljenosti, formira se tablica gdje se računa suma produkata tablica 7 i 8. Izračun se radi tako da se u ćelije upiše Excel funkcija sume produkata (7):

$$= \text{SUMPRODUCT}(\$B\$3:\$K\$3, B15:K15) \quad (7)$$

koja računa sumu produkata prethodno prikazanih tablica (tablica 7 i 8). Prikazana formula funkcionira tako da se primjerice za ćeliju Kamion 1/V1(prikazano zelenom bojom, tablica 9), računa suma produkata količine robe po kamionima (Kamion 1, prema svim zonama; plavo označeno, tablica 9) i pravokutna udaljenost prijemnih vrata do zone otpreme (V1, prema svim zonama; crveno označeno, tablica 9) te se tako dobije suma produkata = 165 (8).

$$\sum q_{kj} * d_{ij} \quad (8)$$

$$(4 * 1) + (3 * 2) + (8 * 3) + (0 * 4) + (0 * 5) + (3 * 6) + (3 * 7) + (8 * 8) + (2 * 9) + (1 * 10) = 165$$

Tablica 9. Suma produkata Qij Dij

Kamion	Količina robe po kamionima (Q)										Ukupno paleta
	Jankomir	Sesvete	Rijeka	Osijek	Zadar	Split	Varaždin	Poreč	Dubrovnik	Pula	
1	4	3	8	0	0	3	3	8	2	1	32
2	0	0	9	4	4	2	6	4	3	0	32
3	1	6	6	0	2	0	4	0	4	9	32
4	6	5	12	0	5	0	0	2	0	3	33
5	7	5	6	2	0	0	0	4	4	3	31
6	0	0	1	6	15	4	0	0	4	0	30
	18	19	42	12	26	9	13	18	17	16	

od / do	Pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zone konsolidacije (d _{ij})										od / do	$\sum q_{ij}d_{ij}$					
	Jankomir	Sesvete	Rijeka	Osijek	Zadar	Split	Varaždin	Poreč	Dubrovnik	Pula		Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6
V1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	V1	=SUMPRODUCT(\$B\$3:\$K\$3,B15:K15)					
V2	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	V2	141	144	165	102	124	132
V3	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	V3	123	112	147	91	117	102
V4	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	V4	121	98	141	104	122	74
V5	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	V5	119	92	135	117	131	58
V6	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	V6	117	94	133	140	140	72

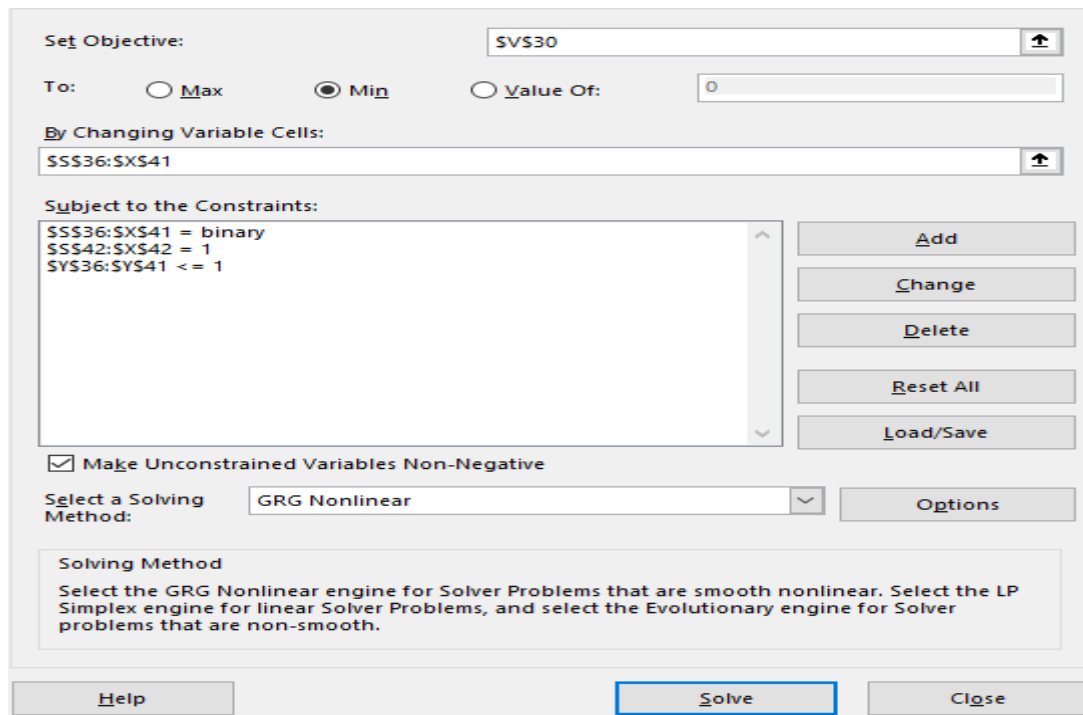
Izvor: Autor izradio

Nakon izračuna sume produkata svih kamiona (dobavljača) prema svim dokovima (vratima), određuje se optimalna alokacija prijemnih vrata. Za određivanje optimiranja alokacije prijemnih vrata, koristi se Microsoft Excel alat, *Solver*. *Solver* je alat Microsoft Excel-a koji služi za vrlo brzo i precizno računanje promjenjivih varijabli, te izračuna optimalne funkcije cilja koja može biti minimalna, maksimalna ili za postizanje određene funkcije cilja mijenjajući promjenjive varijable. Da bi *Solver* izračunao optimalne rezultate potrebno je zadati funkciju cilja (Set Objective, slika 19) koja u navedenom problemu mora biti minimalna, kako bi se minimizirao manipulacijski rad. Zatim se zadaju ćelije sa promjenjivim varijablama, varijable koje *Solver* optimira u svrhu pronalaska optimalne funkcije cilja te se dodaju ograničenja unutar kojih *Solver* traži rješenje, odnosno funkciju cilja. Promjenjive varijable su prazne ćelije koje *Solver* optimira unutar zadanih ograničenja. Zadana ograničenja su u Microsoft Excel tablici prikazana kao suma praznih ćelija za Kamion 1, ..., 6 i V1, ..., V6. Primjer zbroja sume za Kamion 1 (tablica 9, plavom bojom prikazane ćelije) (9):

$$= SUM(S36:S41) \quad (9)$$

gdje se računa zbroj ćelija Kamiona 1 te, kao što je prethodno navedeno, svakom kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata, stoga suma mora biti jednaka 1. Isti postupak se radi za prijemna vrata (V1, V2..).

Ograničenja, *Subject to the Constraints*, se zadaju u parametrima *Solver*-a kao što je prikazano na slici 19. Prvo ograničenje se odnosi na promjenjive varijable da pripadaju skupini binarnih brojeva (0,1) jer više kamiona ne može biti na istim prijemnim vratima. Zatim se zadaje ograničenje da svakom kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata, na način da suma ćelija kamiona 1 mora biti jednaka 1 ($SS\$42:XS\$42 = 1$, slika 19) i ograničenje da suma kamiona na prijemnim vratima može biti manja ili jednaka 1 ($YS\$36:YS\$41 \leq 1$, slika 19).



Slika 19. Korisničko sučelje *Solver*-a

Izvor: Autor izradio

Određivanjem zadanih parametara dobije se optimalno rješenje (prikazano na tablici 10), odnosno minimalna funkcija cilja koja iznosi (10):

$$\min F = 655 \text{ (količina robe * udaljenost)} \quad (10)$$

Tablica 10. Funkcija cilja, optimirane promjenjive varijable

		x_{ki} (kamion → vrata)						
od / do	Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6		
V1	0	0	0	0	1	0	1	
V2	0	0	0	1	0	0	1	
V3	1	0	0	0	0	0	1	
V4	0	1	0	0	0	0	1	
V5	0	0	0	0	0	1	1	
V6	0	0	1	0	0	0	1	
	1	1	1	1	1	1		
Svakom kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata!								
Funkcija cilja:								
min F=	655	količina roba * udaljenost						

Svaka vrata mogu biti dodijeljena jednom ili niti jednom kamionu

Izvor: Autor izradio

Dobivenim rješenjem alociraju se prijemna vrata dolaznim kamionima tako da se maksimalno reducira manipulacija tereta od zone iskrcaja do zona ukrcaja. Kamion 5 alocira se na vrata 1, kamion 4 na vrata 2, kamion 1 na vrata 1, kamion 2 na vrata 4, kamion 6 na vrata 5 i kamion 3 na vrata 6. Također jedan od problema logističko distribucijskog centra je dolazak dobavljača s proizvodima koji se obavezno moraju iskrcati u komore radi regulacije temperature. Zbog jednostavnosti komore su postavljene u blizini vrata 6, kako bi se iskrcaj mogao optimalno obaviti. Problem nastaje kada neki od dobavljača zauzme vrata 6, što onemogućuje preuzimanje robe dobavljača sa specifičnim proizvodima na tim, njemu optimalnim, vratima. Takav rasplet situacije uzrokuje dodatna zagušenja na dokovima i dodatne manipulacije prema komorama. Korištenjem *Solver*-a moguće je modificirati promjenjive varijable, tako što se postavi dodatni parametar ograničenja. Obzirom na lokaciju komora u blizini vrata 6, proizvoljno je postavljen parametar da kamion 2 (dobavljač sa specifičnim proizvodima koji zahtijevaju iskrcaj u komore radi regulacije temperature) odnosno ćelija $x_{26} = 1$. Na taj način, *Solver* obavezno ćeliji x_{26} pridružuje znamenku jedan što znači da se kamiona 2 automatski alocira na vrata 6 kao što je prikazano na tablici 11.

Tablica 11. Funkcija cilja sa dodatnim ograničenjem

	x_{ki} (kamion -> vrata)						
od / do	Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6	
V1	0	0	0	0	1	0	1
V2	0	0	0	1	0	0	1
V3	1	0	0	0	0	0	1
V4	0	0	0	0	0	1	1
V5	0	0	1	0	0	0	1
V6	0	1	0	0	0	0	1
	1	1	1	1	1	1	
Svakom kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata!							
Funkcija cilja:							
min F=	669	količina roba * udaljenost					

Svaka vrata mogu biti dodijeljena jednom ili niti jednom kamionu

Izvor: Autor izradio

6. OČEKIVANI UČINCI PRIMJENE PREDLOŽENOG RJEŠENJA

Primjenom predloženog rješenja očekuje se optimizacija procesa manipulacije robom, eliminiranje praznog hoda dolaznih kamiona (čekanje na vratima), bolje iskorištenje prostora na dokovima, veća učinkovitost radnika, odnosno poboljšanje rada cjelokupnog cross docking sustava. Optimalnom alokacijom prijemnih vrata povećat će se produktivnost operacija na prijemnim vratima, odnosno doprinijet će dosadašnjem problemu logističko distribucijskog centra. Pri vršenju operacija iskrcaja robe, smanjit će se rad potrošen na premještanje robe na najudaljenije zone otpreme, također zagušenja koja nastaju pri iskrcaju robe i čekanja *pickera* da preuzme i otpremi robu na izlaznu zonu.

U praksi, logističko distribucijski centar ne primjenjuje matematički model za alokaciju prijemnih vrata. Funkcioniraju tako da se napravi raspored za dobavljače u vremenskom razdoblju od 07:00 do 10:00. Zatim se pregledava najava, dokument s popisom artikala dobavljača, te se šalje prema skladištu kako bi radnici mogli izvršiti kontrolu robe dolaznih dobavljača. Sukladno tome, odjel logistike, koji je zadužen za obradu narudžbi zaprima svakodnevno narudžbe od svih centara prema kojima se izvozi, te planiraju potreban broj kamiona za otpremu robe za tekući dan. Takav način rada uzrokuje konstantnu maksimalnu zagušenost na dokovima, odnosno dobavljačima nisu alocirana vrata na koja iskrcajavu, već je izbor proizvoljan. Uz navedeno, problem logističko distribucijskog centra predstavlja broj radnika koji je nedovoljan za obavljanje manipulacija na šest prijemnih vrata/dokova, te se dogodi da iskrcaj robe traje duže nego prosječno vrijeme zadržavanja kamiona na vratima, što daljnje uzrokuje dolazak novih dobavljača koji su osuđeni na čekanje dok se jedan od dokova ne isprazni. Čest slučaj je također nedolazak u zadan termin, što uzrokuje povećan broj kamiona u drugom terminu iskrcaja (prvi termin je od 07:00 do 09:00, drugi je od 09:00 do 11:00). Problem zagušenja u drugom terminu iskrcaja može negativno utjecati na proces ukrcanja u otpremne kamione jer se na određenim zonama ukrcaj za otpremu vrši već od 12:00. Optimiranjem alokacije prijemnih vrata, smanjila bi se mogućnost nastanka zagušenja na dokovima, postojan manjak radnika bio bi nadoknativ jer se manja količina manipulacija robom odrađuje, te se tako također smanjuje trošak LDC-a (odnosno ostaje isti, nema potrebe za povećanjem broja radnika). Korištenjem alokacije prijemnih vrata, smanjuje se potreba za automatizacijom cross docking sustava. Automatizacija cross docking sustava bi u mnogim

elementima ubrzala manipulacije u svim segmentima cross dockinga, ali implementacija takvog sustava zahtjeva ogroman kapital, stoga korištenje matematičko modela može supstituirati automatizaciju na vrlo efikasan način. Matematički model alokacije prijemnih vrata je dio optimizacije jednog od elemenata cross docking sustava, a utječe na cjelokupni rad sustava.

Svrhu optimizacije alokacije prijemnih vrata najlakše je predočiti usporedbom novog načina rada cross dockinga s optimiranom alokacijom prijemnih vrata i dosadašnjim načinom rada, gdje dobavljači zauzimaju dokove proizvoljno, u primjeru će biti prikazano da kamion 1 zauzima vrata 1, kamion 2 zauzima vrata 2, do posljednjeg kamiona 6 koji zauzima vrata 6. Ograničenja i funkcija cilja ostaje ista kao što je navedeno u zadatku optimiranja alokacije prijemnih vrata. Novodobivena tablica 12 prikazuje da je funkcija cilja veća (763 količina * roba) u odnosu na funkciju cilja s optimiranom alokacijom prijemnih vrata (655 količina * roba, tablica 10). Obzirom da se traži minimizacija funkcija cilje, optimiranjem alokacije prijemnih vrata postiže se puno bolja vrijednost koja doprinosi manjem manipulacijskom radu, kraćim vremenima zadržavanja kamiona, reduciranjem/eliminiranjem praznog hoda i prethodno navedenih stvari.

Tablica 12. Funkcija cilja dosadašnjeg rada cross docking sustava

		x_{ki} (kamion -> vrata)						
od / do	Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6		
V1	1	0	0	0	0	0	1	
V2	0	1	0	0	0	0	1	
V3	0	0	1	0	0	0	1	
V4	0	0	0	1	0	0	1	
V5	0	0	0	0	1	0	1	
V6	0	0	0	0	0	1	1	
	1	1	1	1	1	1		
Svakom kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata!								
Funkcija cilja:								
min F=	763	količina roba * udaljenost						

Izvor: Autor izradio

Usporedba se također može napraviti za sustav s dodatnim ograničenjem, odnosno s alociranjem dobavljača sa specifičnim proizvodima koji zahtijevaju iskrcaj u komoru na vrata 6 (najmanja udaljenost do komora). Kao što je navedeno u tablici 13, pretpostavljeno je da kamion 2 (dobavljač sa specifičnim proizvodima) zauzima vrata 6, a ostali kamiona zauzimaju

vrata nasumično. Alociranjem kamiona 2 na vrata 6, funkcija cilja iznosi 773 količina robe * udaljenost (tablica 13) što je znatno veće od funkcije cilja dobivene alociranjem prijemnih vrata s ograničenjem prikazane na tablici 11. Također funkcija cilja tablice 13 veća je od funkcije cilja prikazane na tablici 12, iako se alociranjem vrata očekuje reduciranje manipulacije robom. Veća vrijednost funkcije cilja tablice 13 može biti uzrokovana lošijim rasporedom kamiona na ostalim vratima, iako je dobavljač sa specifičnim proizvodima alociran na optimalna vrata.

Tablica 13. Dosadašnji sustav LDC-a sa alociranjem na vrata 6, bez Solver-a

		x_{ki} (kamion -> vrata)						
od / do	Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6		
V1	1	0	0	0	0	0	1	
V2	0	0	0	0	0	1	1	
V3	0	0	1	0	0	0	1	
V4	0	0	0	1	0	0	1	
V5	0	0	0	0	1	0	1	
V6	0	1	0	0	0	0	1	
	1	1	1	1	1	1		
Svaki kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata!								
Funkcija cilja:								
min F=	773	količina roba * udaljenost						

Svaka vrata mogu biti dodijeljena jednom ili niti jednom kamionu

Izvor: Autor izradio

Tablica 14. Usporedba rješenja dobivenog primjenom modela i postojećeg rješenja

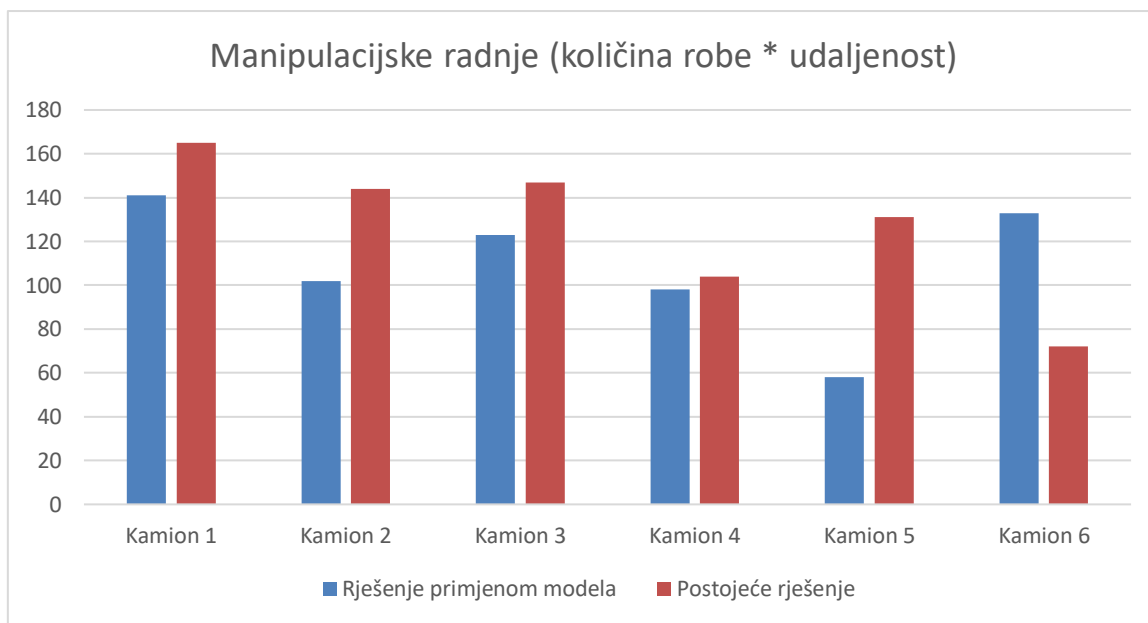
		x_{ki} (kamion -> vrata)									x_{ki} (kamion -> vrata)							
od / do	Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6		od / do	Kamion 1	Kamion 2	Kamion 3	Kamion 4	Kamion 5	Kamion 6				
V1	0	0	0	0	1	0	1	V1	1	0	0	0	0	0	1	1		
V2	0	0	0	1	0	0	1	V2	0	1	0	0	0	0	0	1		
V3	1	0	0	0	0	0	1	V3	0	0	1	0	0	0	0	1		
V4	0	1	0	0	0	0	1	V4	0	0	0	1	0	0	0	1		
V5	0	0	0	0	0	1	1	V5	0	0	0	0	1	0	0	1		
V6	0	0	1	0	0	0	1	V6	0	0	0	0	0	1	0	1		
	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1			
Svaki kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata!								Svaki kamionu moraju biti dodijeljena jedna prijemna vrata!										
Funkcija cilja:									Funkcija cilja:									
min F=	655	količina roba * udaljenost							min F=	763	količina roba * udaljenost							

Svaka vrata mogu biti dodijeljena jednom ili niti jednom kamionu

Izvor: Autor izradio

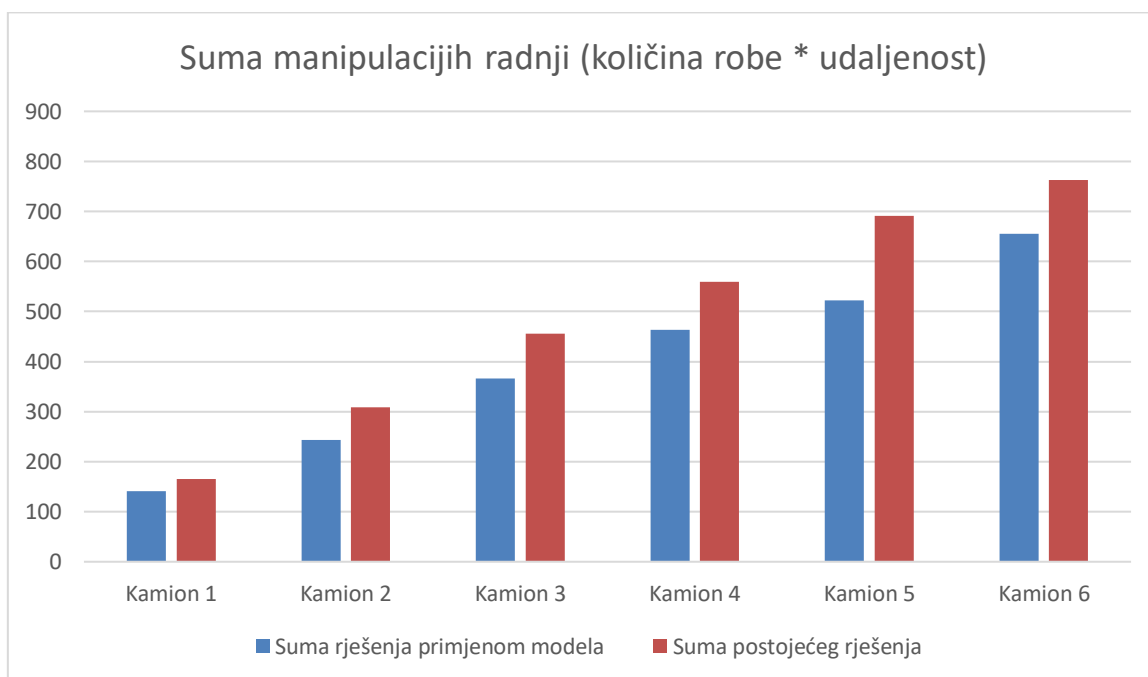
Tablica 14 prikazuje usporedbu funkcije cilja (količina robe * udaljenost, manipulacijski rad) postojećeg rješenja i rješenja primjenom modela. Rješenja dobiveno primjenom matematičkog modela alokacije prijemnih vrata ima manju funkciju cilja (min $F = 655$) što znači da se primjenom modela obavlja manji udio manipulacijskog rada. Izračun se također može prikazati zasebno po svakom kamionu, odnosno koliko se manipulacijskog rada obavlja za svaki kamion ovisno o vratima koja su im alocirana.

Grafikon 1. Manipulacije radnje po kamionu



Izvor: Autor izradio

Grafikon 2. Kumulativna suma manipulacijskih radnji po kamionu



Izvor: Autor izradio

Grafikon 1 i 2 prikazuju usporedbu manipulacijskih radnji i kumulativne sume manipulacijskih radnji po kamionu. Grafikon 1 prikazuje individual broj manipulacijskih radnji po kamionu prema dobivenim podacima rješenja dobivenog primjenom modela i dosadašnjeg rješenja (tablica 14). Rješenje dobiveno primjenom modela postiže bolje rezultate prema alokaciji svih kamionima osim kamiona 6, gdje se manji broj manipulacije obavlja uz postojeće rješenje. Kumulativan broj manipulacijskih radnji je ukupno znatno manji ($655 < 763$) ukoliko se primjenjuje matematički model što prikazuje grafikon 2.

Primjenom modela postiže se manja funkcija cilja, koja je zadana u obliku manipulacijskih radnji, odnosno što je manja funkcija cilja, to će biti manji broj manipulacijskih radnji (manipulacijske radnje od vrata do zona otpreme). Manji broj manipulacijskih radnji omogućuje:

- veći obrtaj kamiona na dokovima,
- reducira broj potrebnih radnika,
- reducira zagušenja na dokovima,
- eliminira prazan hod dolaznih kamiona,

odnosno povećava efikasnost cross docking sustava uz minimalne troškove.

7. ZAKLJUČAK

Cross docking predstavlja strategiju logističko distribucijskih centara kojom se postižu prednosti rukovanja materijalom, eliminiranja skladištenja proizvoda, reducira se trošak zaliha i transporta, povećava se popunjenost kapaciteta transporta te se postiže veća dostupnost proizvoda. Cross docking se smatra neophodnom koncepcijom unutar distribucijskog sustava kod većih poduzeća zbog brojnih usluga koje se trebaju obaviti u što kraćem periodu. Takva koncepcija također zahtijeva visoku razinu koordiniranosti i partnerstva što može uzrokovati probleme u bilo kojoj fazi distribucije. U današnje vrijeme postoji velika potreba za uporabom cross dockinga zbog širenja tržišta prema svim dijelovima svijeta i veće dostupnosti proizvoda krajnjim korisnicima (ponajviše zbog interneta). Cross docking predstavlja odgovor na opskrbu što većeg broja korisnika u što kraćem periodu.

Kako bi poduzeća bila što konkurentnija na tržištu, broj usluga dodatnih vrijednosti raste te se također primjenjuju matematički model u svrhu postizanja što boljih rezultata cross dockinga i reduciranja troškova. U ovom radu, primjenjen je matematički model alociranja prijemnih vrata na postojećem rješenju logističko distribucijskog centra. Usporedbom postojećeg rješenja i rješenja primjenom modela očituje se razlika i poboljšanje u redukciji manipulacijskog rada, kraćim vremenim zadržavanja kamiona, reduciranjem/eliminiranjem praznog hoda. Matematički model alokacije prijemnih vrata je samo jedan od matematičkih modela koji mogu optimirati način rada logističko distribucijskih centara, te također ne zahtjeva veliki kapital kao automatizacija skladišta. Shodno tome, većina poduzeća se odlučuje na primjenu matematičkih modela i optimiranja postojećih sustava, odnosno povećanja konkurentnosti i kvalitete usluga na tržištu.

LITERATURA

1. Kulwiec, R. (2004) Crossdocking as a Supply Chain Strategy
2. Bartholdi, J.J. i Gue, K.R. (2004). The Best Shape for a Crossdock. *Transportation Science*, vol.38, broj 2. Str. 235-244.
3. Ladier, A. (2014). Scheduling cross-docking operations: Integration of operational uncertainties and resource capacities. Université de Grenoble
4. Li, Z. i sur. (2008). A Solution for Cross-docking Operations Planning, Scheduling and Coordination. *Journal of Service Science and Management*. 05(02): str. 2957 - 2962
5. Cicvarić, B. (2016) Znaete li što je Cross-docking? Dostupno na: <https://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=2374> (pristupano 05.05.2020.)
6. Napolitano, M. (2000) Making the Move to Cross Docking: A Practical Guide to Planning, Designing, and Implementing a Cross Dock Operation. WERC
7. Waters, D. (2003) Logistics- An Introduction to Supply Chain Management. PALAGRAVE MACMILLAN: New York
8. Rogić, K. Nastavni materijali iz kolegija „Distribucijska logistika 1“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.
9. Mavi, K. R. i sur. (2020) Cross-Docking: A Systematic Literature Review. Sustainability: Basel, Švicarska
10. Langevin, A. i Riopel, D. (2005) Logistics Systems: Design and Optimization. Springer: New York
11. Apte, U.M. i Viswanathan, S. (2000). Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 3, 291 - 302.
12. Kulwiec, R. (2017) What is Cross- Docking? Dostupno na: <https://www.floship.com/cross-docking/> (pristupano 10.06.2020.)
13. Saddle Creek Corporation (2011) 2011 Cross-Docking Trends Report. Dostupno na: <http://www.distributiongroup.com/articles/070111DCMwe.pdf> (pristupano 10.06.2020.)
14. Panousopoulou, P. Papadopoulou, E. I Manthou, V. (2010) Cross-Docking A Successful Method in Warehouses: A Case Study of a 3PL Provider. University of Macedonia: Thessaloniki, Grčka

15. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.902.1788&rep=rep1&type=pdf> (pristupano 12.06.2020.)
16. <http://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/121.pdf> (pristupano 12.06.2020.)
17. Vacas de Carvalho Silva Pereira, M. (2016) Restructuring of Logistics Processes: Case Study of Cross-Docking Operations at Warehouse AZ1 of Grupo Luis Simoes, Tecnico Lisboa
18. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/9717> (pristupano 12.06.2020.)
19. Stanković, R. Nastavni materijali iz kolegija „Logistika i transportni modeli“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.
20. Ivaković, Č.; Stanković, R.; Šafran, M.: Špedicija i logistički procesi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010

POPIS SLIKA

Slika 1. Cross docking shema	4
Slika 2. Break Bulk Cross Docking model distribucije	8
Slika 3. Pre-packed Cross Docking model distribucije	10
Slika 4. Proces optimiranja	22
Slika 5. Matematički model	23
Slika 6. Modeli logističkih sustava.....	25
Slika 7. Osnovna načela modeliranja	26
Slika 8. Proces matematičkog modeliranja.....	27
Slika 9. Alociranje prijemnih vrata cross docking terminala.....	29
Slika 10. Manhattan, taxicab distance	30
Slika 11. Ukrcajni/iskrcajni dokovi.....	31
Slika 12. <i>pick up</i> roboti.....	32
Slika 13. Autonomni viličar.....	33
Slika 14. Robotska ruka, skeniranje	33
Slika 15. Cross docking terminal sa različitim stranama iskrcaja/ukrcaja	35
Slika 16. Komora za ribu	35
Slika 17. Dijagram toka cross docking procesa	38
Slika 18. Pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zona otpreme.....	40
Slika 19. Korisničko sučelje <i>Solver-a</i>	43

POPIS TABLICA

Tablica 1. Odnos relevantnih čimbenika uvođenjem BBxD	9
Tablica 2. Odnos relevantnih čimbenika uvođenjem PPxD	11
Tablica 3. Prednosti cross dockinga	14
Tablica 4. Nedostaci cross dockinga	15
Tablica 5. Najveće koristi implementacije cross docking sustava 2011. godine	17
Tablica 6. Faktori koji utječu na implementaciju.....	18
Tablica 7. Količina robe po kamionima (Q)	40
Tablica 8. Pravokutna udaljenost od prijemnih vrata do zona otpreme	41
Tablica 9. Suma produkata Q_{ij} Dij.....	42
Tablica 10. Funkcija cilja, optimirane promijenjive varijable	44
Tablica 11. Funkcija cilja sa dodatnim ograničenjem	45
Tablica 12. Funkcija cilja dosadašnjeg rada cross docking sustava.....	47
Tablica 13. Dosadašnji sustav LDC-a sa alociranjem na vrata 6, bez Solver-a.....	48
Tablica 14. Usporedba rješenja dobivenog primjenom modela i postojećeg rješenja	48

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Manipulacije radnje po kamionu	49
Grafikon 2. Kumulativna suma manipulacijskih radnji po kamionu	49