

Matematičko-statistički modeli upravljanja opskrbnim lancima

Sučić, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:623877>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerađivanja 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-08**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Matea Sučić

MATEMATIČKO-STATISTIČKE METODE
UPRAVLJANJEM LANCEM OPSKRBE
DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Matea Sučić

Matični broj: 44557/16-R

MATEMATIČKO-STATISTIČKE METODE
UPRAVLJANJEM LANCEM OPSKRBE
DIPLOMSKI RAD

Mentori:

prof. dr. sc. Vesna Dušak

Varaždin, svibanj 2018.

Sadržaj

Popis slika	III
1. UVOD	1
2. LANAC OPSKRBE	2
2.1. Općenito o lancu opskrbe.....	2
2.2. Vrste opskrbnog lanca	3
2.3. Elementi opskrbnog lanca	4
3. UPRAVLJANJE OPSKRBNIM LANCEM.....	5
3.1. Pojam upravljanja opskrbnim lancem	6
3.2. Faze zrelosti i održivo upravljanje opskrbnim lancem	6
3.3. Informacijski sustavi u upravljanju opskrbnim lancem	8
3.4. Menadžment opskrbnog lanca	8
3.5. Upravljanje kvalitetom u kontekstu upravljanja opskrbnim lancem	9
3.6. Zalihe u opskrbnom lancu	10
3.7. Strategije upravljanja opskrbnim lancem.....	11
3.8. Mjerenje djelotvornosti opskrbnog lanca	12
3.9. Rizici u opskrbnom lancu.....	14
4. MATEMATIČKO-STATISTIČKE METODE UPRAVLJANJEM LANCEM OPSKRBE	16
4.1. LINEARNO PROGRAMIRANJE.....	16
4.1.1. Simpleks metoda	17
4.2. TRANSPORTNI PROBLEM LINEARNOG PROGRAMIRANJA.....	21
4.2.1. Metode za rješavanje transportnog problema.....	22
4.2.2. Primjene transportnih problema.....	24
4.2.3. Otvoreni transportni problem sa suviškom u ponudi	25
4.2.4. Otvoreni transportni problem sa suviškom u potražnji	26
4.3. MODELI ZALIHA	30
4.3.1. Politika zaliha.....	30
4.3.2. Troškovi zaliha	31
4.3.3. Izračunavanje optimalnog godišnjeg broja narudžbi	32
4.3.4. Izračunavanje optimalnog broja jedinica po jednoj narudžbi	33
4.3.5. Izračunavanje optimalnog broja dana opskrbljivanja	34
4.4. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE	35
4.4.1. Problem nabave.....	35

4.5. MARKOVLJEVI PROCESI	41
4.5.1. Postupak izgradnje modela i rješavanje problema	41
4.6. TEORIJA REDOVA ČEKANJA.....	43
4.6.1. Osnovni pojmovi u teoriji redova čekanja	44
4.6.2. Troškovi čekanja	45
4.6.3. Psihologija čekanja.....	46
4. ZAKLJUČAK.....	47
7. LITERATURA	48

Popis slika

Slika 1. Lanac opskrbe (Izvor: Kralj, I. (2015) Analiza opskrbnog lanca u vinskoj.....	3
Slika 2. Model održivog upravljanja opskrbnim lancem (Izvor: Luetić, A. (2013) Poslovna inteligencija i upravljanje opskrbnim lancem, str. 137)	7
Slika 3. Matrica strategija upravljanja opskrbnim lancem (Izvor: Luetić, A.	12
Slika 4. Utjecaj pojedinih rizika na opskrbi lanac (Izvor: Ivković, L. (2015).....	14
Slika 5. Odnos troškova u analizi redova čekanja Izvor: Russell, Taylor; 2009.....	46

1. UVOD

U današnjem svijetu javlja se sve veća potreba za smanjenjem troškova u suvremenim gospodarskim sustavima. Kako bi poduzeća poslovala što efikasnije svima je u cilju postići maksimalnu proizvodnju uz minimalne troškove. Iz tog razloga javlja se sve veća potreba za upravljanjem opskrbnim lancem. Uvođenjem adekvatnog sustava upravljanja lancem u organizacije može se uštediti na vremenu i novcu, te to postaje primarna zadaća svih suvremenih poduzeća. Aktivnosti opskrbnog lanca započinju narudžbom kupca, a završavaju kada zadovoljni kupac plati isporučenu robu na osnovu ispostavljenog računa što znači da je to dugotrajan proces te ima puno stavki na koje je potrebno utjecati na vrijeme. Za svaki proces u upravljanju opskrbnim lancem postoje matematičko-statističke metode kojima možemo unaprijed izračunati razne segmente upravljanja procesom te na taj način uštedjeti na vremenu i novcu. U ovome diplomskom radu razrađen je pojam opskrbnog lanca te način upravljanja njime. Prikazane su neke od matematičko-statističkih metoda kojima mjerimo djelotvornost opskrbnog lanca. Korištenjem različitih metoda dolazi se do optimalnog rješenja koje pokazuje najniže transportne troškove, troškove držanja zaliha i sl. Pri samom kraju rada iznijeti će se primjer opskrbnog lanca te navesti zaključak.

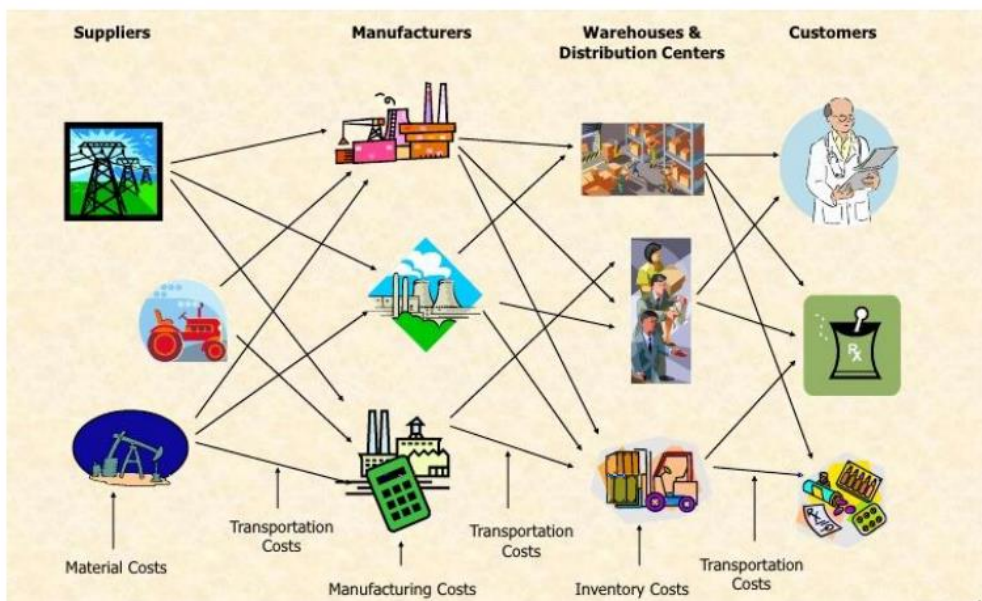
2. LANAC OPSKRBE

Pošto je tema ovog seminarskog rada Matematičko-statističke metode upravljanja lancem opskrbe, potrebno je razraditi pojam opskrbnog lanca. U ovome poglavlju iznijeti će se neke osnovne informacije o lancu opskrbe, navesti će se osnovne vrste opskrbnog lanca te će završiti opisivanjem elemenata opskrbnog lanca.

2.1. Općenito o lancu opskrbe

Postoje različite definicije opskrbnog lanca, međutim one u konačnici iskazuju isto značenje. Upravo literatura navodi da se opskrbnim lancem smatra povezujući lanac između proizvođača i njihovih sudobavljača, veletrgovaca i maloprodavača koji djeluju kao tržišni posrednici logističkih poduzeća koja se ubrajaju u tržišne pomagače i konačnih potrošača. (Segetlija, 2008:407) Također se ističe kako se opskrbni lanac treba razumjeti kao sustav koji omogućuje zadovoljenje potreba potrošača ostvarujući pritom komercijalnu dobit.

Sam sustav opskrbnog lanca obuhvaća međudjelovanje uključenih subjekata, kao što su kupci, dobavljači sirovina, proizvođači, distributeri, trgovci, prijevoznici i mnogi drugi. Opskrbni lanac može se razmatrati u užem smislu, s aspekta tvrtke te se tada radi o unutarnjim robnim, informacijskim i financijskim tokovima tvrtke. On se također može proširiti i izvan same tvrtke. (Gašparini, 2013:6) Stoga se može zaključiti kako se opskrbni lanac sastoji od velikog broja subjekata, a čija je svrha prenijeti određenu sirovinu, tj. gotovi proizvod od početka do kraja opskrbnog lanca. Literatura također ističe kako danas opskrbni lanac predstavlja logistiku podignutu na stratešku razinu. Važno je još istaknuti kako se struktura opskrbnog lanca sastoji u tome da se on u obavljanju svojih funkcija bavi sljedećim pitanjima, i to pitanje lokacije pojedinog skladišta, zalihe na pojedinim lokacijama, sustav skladištenja i komisioniranja te distribucija uz što niže troškove. Na sljedećoj slici prikazan je lanac opskrbe, koja ujedno potkrepljuje sve prethodno navedeno.



Slika 1. Lanac opskrbe (Izvor: Kralj, I. (2015) Analiza opskrbnog lanca u vinskoj industriji, str.5)

U opskrbnom lancu obavlja se niz poslova te su oni svrstani u SCOR model, koji uključuje planiranje, nabava, proizvodnja, isporuka i povrat, međutim o elementima opskrbnog lanca biti će riječi nešto kasnije. (Tomić, 2015:4-9) Opskrbni lanac se može prikazati najjednostavnijim primjerom nekog gotovog proizvoda. Ukoliko je gotov proizvod konzervirano povrće prodano u hipermarketu, tada opskrbeni lanac uključuje hipermarket, dobavljača konzerviranog povrća, prerađivača koji ga je konzervirao i poljoprivrednika koji ga je uzgojio. (Vouk, 2005:1014)

2.2. Vrste opskrbnog lanca

Prema literaturi postoje tri osnovne vrste opskrbnog lanca, a to su agilni, hibridni i lean. Agilni lanac predstavlja opskrbeni lanac koji se brzo prilagođava te na taj način odgovara na nepredvidljive zahtjeve kupca. Problem ovome lancu predstavlja troška vremena, stoga je kod agilnog opskrbnog lanca pravilo da je količina zaliha koja se nalazi u nabavnom lancu proporcionalna dužini vremena koje je potrebno od sirovine do krajnjega kupca. Zbog toga je važno iz procesa ukloniti sve aktivnosti, koje troše vrijeme, a ne donose stvaranju vrijednosti. Također lean lanac nastoji poboljšati proces opskrbnog lanca uklanjajući sve nepotrebne korake. Treća vrsta opskrbnog lanca kombinira svojstva prethodna dva lanca da bi se tako stvorila opskrbeni mreža koja će zadovoljiti potrebe složenih proizvoda. (Tomić, 2015:10-11)

Autor također ističe kako postoje četiri tipa lanaca opskrbe i to efikasni lanci opskrbe koji se fokusiraju na smanjenje troškova te imaju nisku razinu nesigurnosti ponude i potražnje. Lanci opskrbe koji ograničavaju izloženost rizicima su fokusirani na ustaljenu mrežu dobavljača kako bi smanjili nesigurnost ponude. S druge strane lanci koji promptno reagiraju na promjene u potražnji se fokusiraju na fleksibilnost kroz proces proizvodnje po narudžbi. Kombinacija strategija prethodna dva lanca čine već ranije spomenuti agilni lanac opskrbe. (Renko, 2013:20)

2.3. Elementi opskrbnog lanca

Sam opskrbni lanac sastoji se od određenih elemenata. Kako bi opskrbni lanac nesmetano funkcionirao potrebno je postojanje povezanosti svih elemenata opskrbnog lanca. Povezano se navedenim potrebno je upravljati lancem opskrbe i njegovim elementima. Kao elementi opskrbnog lanca mogu se navesti nabava, proizvodnja, distribucija, skladištenje i držanje zaliha. Kako bi započeo proces proizvodnje potrebno je imati odgovarajuće sirovine, zbog toga se na samom početku javlja logistika nabave. Već iz same definicije vidljivo je da logistika nabave predstavlja logistički sustav koji je povezan s tržištem, a čini poveznicu između logistike distribucije dobavljača i logistike proizvodnje poduzeća. Za nesmetano odvijanje procesa proizvodnje potrebno je imati odgovarajuće sirovine, zbog toga se logistika nabave bavi planiranjem, upravljanjem i obradom toka materijala od dobavljača pa sve do pripreme za proizvodnju. (Segetlija, 2013:183-184)

Nakon što se zaprimaju materijali i sirovine potrebni za nastavak procesa te nakon što se uspješno provedu aktivnosti logistike nabave prelazi se na sljedeći element opskrbnog lanca. Zaprimiteljne sirovine potrebno je efikasno iskoristiti u proizvodnom procesu te ih pretvoriti u gotove proizvode koji će se nuditi sljedećim sudionicima opskrbnog lanca. Ovdje važnu ulogu igra logistika proizvodnje. Poznato je kako se treba osigurati nesmetani tok sirovina i informacija u samom procesu proizvodnje. Zbog toga upravo logistika proizvodnje svojim zadacima osigurati nesmetani tok materijala i informacija u transformacijskom procesu proizvodnje. Sam tok razlikuje se od vrste proizvodnog procesa, pa se logistika proizvodnje treba tome prilagođavati kako bi se osigurao optimalan tok. Također se ističe kako su u sklopu ove logistike usko povezani procesi proizvodnje i same logističke aktivnosti. (Segetlija, 2013:201-213)

Završetkom procesa proizvodnje potrebno je prijeći na sljedeću fazu, tj. potrebno je gotove proizvode dostaviti krajnjim potrošačima. Kao što treba postojati nesmetani tok sirovina i materijala te informacija između dobavljača i tvrtke, tako treba postojati i nesmetani tok gotovih

proizvoda do krajnjih potrošača. Upravo literatura navodi da tok dobara završava u potrošnji i to temeljem distribucijskih funkcija. Zbog toga se javlja sljedeći element opskrbnog lanca, a to je logistika distribucije. U literaturi se povezano se navedenim ističe da logistika distribucije obuhvaća sve aktivnosti koje su povezane s dostavnom gotovih proizvoda i trgovačke robe kupcima. Postoje različiti lanci dostave gotovih proizvoda, a navedeno ovisi o tome da li se isporuka odvija direktno ili putem odgovarajućih posrednika. Važno je još istaknuti kako se javljaju odgovarajući troškovi koje je potrebno minimalizirati, a kao najveći dio čine troškovi skladišta, troškovi držanja zaliha i troškovi transporta. Kao što je već istaknuto logistika distribucije treba donijeti odluku o izboru pravog kanala distribucije, pronaći nove koncepte kanala distribucije i drugo. (Segetlija, 2013:233-257) Gotove proizvode je potrebno uskladištiti na odgovarajući način. Skladištenje zbog toga također predstavlja jedan element opskrbnog lanca. Samo skladištenje će imati utjecaja na proces distribucije zbog toga treba voditi računa o broju, vrstama i lokaciji skladišta. Autor navodi kako skladište s logističkog stajališta čini čvor ili točku na logističkoj mreži na kojem se roba prima, ali i šalje u nekom drugom smjeru unutar mreže. (Kralj, 2015:15)

3. UPRAVLJANJE OPSKRBNIM LANCEM

Nakon obrade samog pojma opskrbnog lanca, njegovih vrsta i elemenata, potrebno se osvrnuti na upravljanje opskrbnim lancem. U okviru ovog poglavlja obraditi će se opći pojam upravljanja opskrbnim lancem, a ujedno će se istaknuti faze zrelosti i održivo upravljanje opskrbnim lancem te uloga informacijskih sustava u upravljanju opskrbnim lancem. Nakon toga istaknuti će se važnost menadžmenta opskrbnog lanca te će se navesti razine odlučivanja u opskrbnom lancu. Kako bi opskrbni lanac dobro funkcionirao potrebno je upravljati kvalitetom u samom lancu. Zalihe čine važan segment, pa će se u sklopu ovoga poglavlja ukratko opisati značaj zaliha u opskrbnom lancu. Ovo poglavlje će se također osvrnuti na strategije upravljanja opskrbnim lancem. Da bi se uvidjelo da li opskrbni lanac dobro funkcionira, navesti će se osnovni načini mjerenja djelotvornosti opskrbnog lanca. Na samom kraju poglavlja navesti će se rizici koji se pojavljuju u opskrbnom lancu.

3.1. Pojam upravljanja opskrbnim lancem

Upravljanje opskrbnim lancem važan je dio ukupnog lanca opskrbe. Upravljanje se temelji na orijentaciji na tokove i procese koji su karakteristični za logističku koncepciju. Kod upravljanja se u obzir u velikoj mjeri mora uzeti odnose između logističkog kanala i akvizicijskog kanala. Logistički kanal je dio marketinškog kanala koji opisuje put transakcija nekoga poduzeća s njegovim nabavnim i prodajnim tržištima. Koncepcija upravljanja opskrbnim lancem preuzima djelomično upravljanje financijama i upravljanje novčanim tokovima. Važno je istaknuti kako se zapreke u toku financijskih sredstava negativno održavaju na ukupni opskrbni lanac. (Segetlija, 2008:407-408) Međutim nastanak upravljanja lancem opskrbe dovodi do odgovarajućih promjena u organizaciji, dolazi do pojave virtualnih mreža poduzeća koje su najvažniji dio agilnog lanca opskrbe. (Tomić, 2015:4) Literatura također ističe da je upravljanje opskrbnim lancima skup pristupa i akcija čija je svrha efikasno integrirati dobavljače, proizvođače, skladišta (distributivne centre) i prodajna mjesta u jednu cjelinu, kako bi se roba proizvodila i distribuirala u pravim količinama, na pravu lokaciju, u pravo vrijeme, a sve to uz korištenje minimalnih troškova potrebnih za ispunjenje zadovoljavajuće razine usluge korisnika.

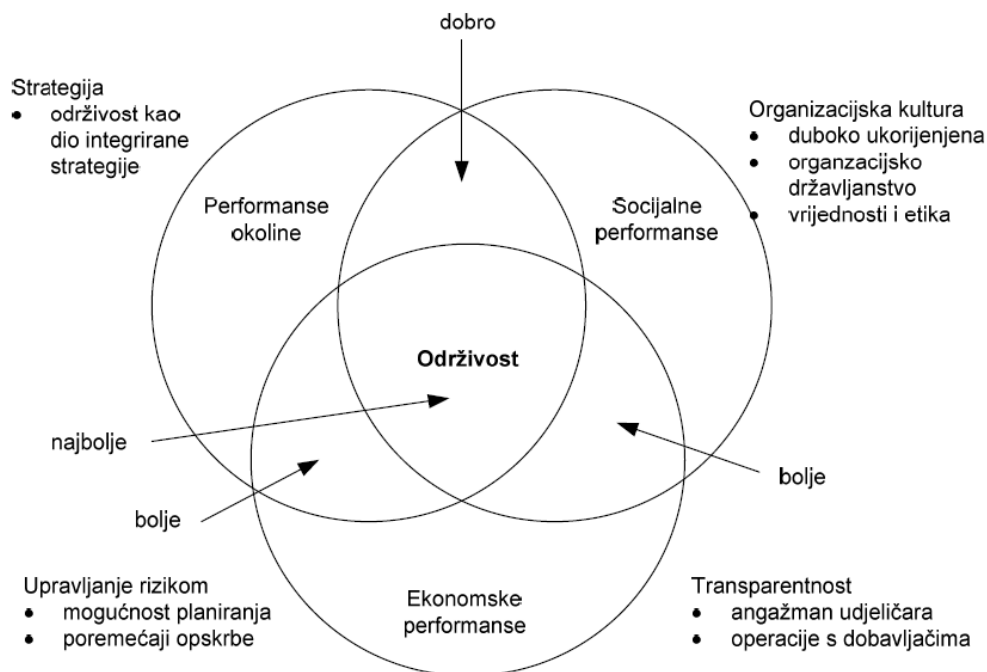
Upravljanje opskrbnim lancem može se sažeti kroz četiri „R“ te tako predstavlja odgovornost, pouzdanost, elastičnost, odnose. Kod odgovornosti se ističe kako sposobnost brzog odgovora prema kupčevim potrebama postaje kritično za uspjeh, a pouzdanost pak ističe da je značajno unapređenje moguće jedino kroz reinženjering procesa koji utječu na performanse. Ujedno se ističe da turbulentno i promjenjivo okruženje zahtijeva sposobnost lanca da bude elastičan kako bi uspješno odolijevao poremećajima. Naposljetku upravljanje opskrbnim lancem odnosi se na upravljanje odnosima, a uspješniji će biti oni koji se rukovode principima zajedničke koristi u međusobnim odnosima. (Kralj, 2015:5-6)

3.2. Faze zrelosti i održivo upravljanje opskrbnim lancem

Upravljanje opskrbnim lancem se razvija s vremenom, pa shodno tome postoje faze zrelosti opskrbnog lanca. Autor navodi kako su poduzeća u prvoj fazi fokusirana na funkcijska i procesna poboljšanja, a riječ je o internim aktivnostima usmjerenim oko unutarnje integracije. U sljedećoj fazi nastavlja se evolucija opskrbnog lanca još uvijek unutar poduzeća, ali dolazi do pomaka nabave prema strateškoj funkciji. Kod treće faze logistika, transport i funkcije

skladištenja uspostavljaju globalne relacije s kvalificiranim logističkim servisima. Sljedeću fazu obilježava intenzivan razvoj odnosa s kupcima i dobavljačima, a to dovodi do razvoja lanca vrijednosti. Posljednju i najnapredniju fazu karakterizira maksimalna komunikacijska povezanost kroz cijelu mrežu opskrbnog lanca uz korištenje tehnoloških mogućnosti. (Luetić, 2013:116)

Kako bi sve dobro funkcioniralo potrebno je održivo upravljati opskrbnim lancem. Održivost kao pojam predstavlja ispunjavanje potreba sadašnje generacije ne ugrožavajući pri tome mogućnost budućih generacija da zadovolje svoje potrebe. Shodno tome održivo upravljanje opskrbnim lancem je postizanje strateške, transparentne integracije i postizanje organizacijskih, socijalnih i ekonomskih ciljeva, a to se postiže kroz sustavnu koordinaciju ključnih međuorganizacijskih procesa zbog unapređenja ekonomskih performansi pojedine kompanije i njezinog opskrbnog lanca. Razvijeni su brojni modeli održivog upravljanja opskrbnim lancem. Jedan model sastoji se od tri komponente, a to su performanse okoline, socijalne i ekonomske performanse, kojima se pridružuju četiri podržavajuća aspekta i to organizacijska kultura, strategija, upravljanje rizikom i transparentnost. (Luetić, 2013:136) Navedeni model prikazani je na slici u nastavku.



Slika 2. Model održivog upravljanja opskrbnim lancem (Izvor: Luetić, A. (2013) Poslovna inteligencija i upravljanje opskrbnim lancem, str. 137)

3.3. Informacijski sustavi u upravljanju opskrbnim lancem

Kao što je već istaknuto u opskrbnim lancem osim dobara i vrijednosti prolaze i različiti tokovi informacija. Kako bi se navedenim informacijama učinkovito upravljalo te kako bi se one pohranjivale koriste se informacijski sustavi. Isti se koriste i za druge procese i svrhe, a literatura navodi nekoliko uloga informacijskih sustava. Integracijom informacijskih sustava svih sudionika nastaje platforma za zajedničku komunikaciju, kako bi se na taj način u lancu opskrbe povezale kontrolne aktivnosti svih sudionika lanca. Kada se uspostavi platforma za zajednički komunikacijski informacijski sustav se može koristiti za razmjenu informacija o ponudi i potražnji. Sljedeća uloga informacijskog sustava je da se on koristi za upravljanje izvršavanjem procesa i to na način da sustav registrira, aktivira i provodi izvršenje specifičnih zadataka za kupce, a sposoban je pravovremeno otkriti te signalizirati poremećaje u procesima.

Nešto veća uloga informacijskog sustava je da se on koristi kao podrška u odlučivanju, a navedeno se postiže kroz alate za analizu informacija o ponudi i potražnji te informacija o izvršenju procesa. Navedeno pomaže u donošenju odluka o alternativnim rješenjima i o provođenju korektivnih ili preventivnih mjera. Također informacijski sustavi se koriste za konfiguraciju i implementaciju procesa na način da sustav upravlja i prilagođava kontrolne varijable nekog procesa te se brine za njegovu implementaciju kod kupca. Važno je još istaknuti kako informacijski sustav mora biti u skladu s tipom opskrbnog lanca u kojem djeluje. (Renko, 2013:21-22)

3.4. Menadžment opskrbnog lanca

Važan aspekt u opskrbnom lancu čini menadžment opskrbnog lanca. Literatura navodi kako on održava stratešku ulogu dobavljača u pridonošenju dugoročnom uspjehu poduzeća. Poboljšanjem menadžmenta opskrbnog lanca moguće je poboljšati i cjelokupni opskrbeni lanac. Njegova je glavna ideja u primjeni potpunog sustava u upravljanju tokom informacija, materijala i usluga od dobavljača sirovina, preko tvornica i skladišta do krajnjega kupca. Važnost je vidljiva u tome što je tradicionalno shvaćanje nabave zamijenjeno strategijom koja se zasniva na kvaliteti i koja se koncentrira na razvijanje dugoročnih odnosa s dobavljačima, na stvaranje partnerstva, na neprekidno poboljšanje kvalitete proizvoda i snižavanje troškova. (Vouk, 2005:1014) Postoje različite definicije ovog menadžmenta, ali on najčešće obuhvaća

koordinaciju i suradnju između partnera u kanalu, a sve kako bi se krajnjem potrošaču pružio što kvalitetniji proizvod po konkurentnim cijenama.

Sam menadžment se može najjednostavnije promatrati kao optimizaciju razina zaliha, usluga kupcu i logističkih aktivnosti. (Vouk, 2005:1015) Već ovdje se vidi povezanost zaliha i opskrbnog lanca. U samom lancu je cilj upravljati zalihama, tj. optimizirati njihovu razinu kako bi se snizili ukupni troškovi, a za to važnu ulogu igra menadžment lanca. Upravo je držanje značajne količine zaliha sirovina i gotovih proizvoda poduzeće činilo nesposobnim da brzo reagira na promjene potražnje i sklonosti potrošača. Međutim danas su poduzeća mnogo povezanija sa svojim dobavljačima da lakše reagiraju na promjenljive potrebe svojih kupaca, pa na taj način smanjuju i koji put eliminiraju sigurnosne zalihe. U nekim slučajevima kod uvođenja „just in time“ sustava zalihe se u potpunosti eliminiraju, ali tada poduzeće postaje ovisno o svojim dobavljačima. Važno je također istaknuti kako su dobavljači i nabava zaliha postali važan činitelj konkurentskih prednosti. (Vouk, 2005:1016)

3.5. Upravljanje kvalitetom u kontekstu upravljanja opskrbnim lancem

Cilj svakom poduzeću je zadovoljiti potrebe klijenata, a to se najčešće postiže isporukom kvalitetnih proizvoda. Iz ovoga je vidljivo kako poduzeća trebaju voditi brigu o kvaliteti proizvoda, ali i o kvaliteti resursa, rada zaposlenika i slično. Zbog toga se često u poduzeća uspostavljaju odgovarajući sustavi nadzora kvalitete koji vode brigu o tome. Upravljanje kvalitetom povezano je sa upravljanjem opskrbnim lancem, a oni zajedno imaju utjecaj na poslovne rezultate. Upravo literatura navodi da navedeno predstavlja dvije najvažnije strategije u kompanijama i preduvjeti su za uspjeh na globalnom tržištu. Da bi se postigli zacrtani ciljevi upravljanjem opskrbnim lancem nastoji se ostvariti vertikalna integracija u opskrbnom lancu, dok se s druge strane sustav upravljanja kvalitetom temelji na sustavnom pristupu u kojem se kroz horizontalnu integraciju među odjelima i funkcijama nastoji uključiti sve zaposlenike na svim razinama. (Baković, 2013:173)

Poduzeća u svojim opskrbnim lancima također trebaju provoditi aktivnosti odgovarajuće kvalitete kako bi svi sudionici lanca bili zadovoljni. Upravo ovdje dolazi do izražaja povezanost ranije spomenutih sustava. Sam sustav kvalitete pomaže organizacijama kod provođenja aktivnosti u opskrbnom lancu i to optimiziranjem svih procesa unutar organizacije, a to utječe na poboljšanje nabavnih aktivnosti eliminiranjem nepotrebnih. Autor ističe kako uvođenje

norme ISO 9001 ima pozitivne učinke na navedene procese, a uključenost, edukacija i osnaživanje zaposlenika igra također važnu ulogu. Također autor ističe kao primjer opskrbnog lanca Toyote u kojemu se pri odabiru dobavljača ne fokusira samo na kvalitetu i mogućnost isporuke prema just-in-time načelima, već i na stavove zaposlenika i njihovu spremnost na učenje i prilagodbu promjenama. (Baković, 2013:174) Kao što je već navedeno ova dva sustava zajedno imaju utjecaj na poslovne rezultate. Ukoliko se navedena dva sustava adekvatno uspostave te ako zajedno djeluju imaju pozitivne efekte na poslovne rezultate. Podrška vrhovnog menadžmenta, odnosi s potrošačima, uključenost zaposlenika, trening, sustav nagrađivanja i odnosi s dobavljačima kao principi upravljanja kvalitetom imaju utjecaj na poslovne rezultate. Na posljetku je još važno istaknuti kako bi menadžeri oba sustava trebali međusobno surađivati te na taj način doprinositi poslovnim rezultatima. (Baković, 2013:175)

3.6. Zalihe u opskrbnom lancu

Literatura navodi kako zalihe predstavljaju materijalni oblik tekuće imovine. Same zalihe pojavljuju se u različitim pojavnim oblicima, ali najčešće je riječ o zalihama sirovina i materijala, zalihe proizvodnje, nedovršenih proizvoda, zalihe gotovih proizvoda te zalihe trgovačke robe. (Žager, Vašiček, Žager, 2003:32) U logistici zalihe predstavljaju važan aspekt, tj. one predstavljaju jedan segment u okviru logističkog lanca. Upravo je ovdje važno istaknuti sustav držanja zaliha, koji je jedan od intraorganizacionih logističkih podsustava, a usko je vezan sa sustavom izvršavanja narudžbi. Sam sustav držanja zaliha bavi se svim odlukama koje imaju utjecaj na stanje zaliha. Kako bi se što bolje zadovoljile potrebe tržišta potrebno je imati efikasan opskrbni lanac. Upravo je svrha efikasnog opskrbnog lanca koordinacija toka materijala i usluga kako bi se minimizirale zalihe te povećala efikasnost proizvođača u lancu. Razvijene su četiri strategije za unapređenje upravljanja opskrbnim lancem i to racionalizacija, sinkronizacija, adaptacija te inovacija. Tako sinkronizacija obuhvaća upravljanje zalihama, a cilj je same strategije postizanje vjerodostojnosti i besprijekornosti izvršavanja unutar lanca. (Luetić, 2013:121-122)

Također javlja se sustav menadžmenta zaliha koji je izravno povezan s dobavljačevim računalom te je tako sofisticiran da maloprodavač stalno ima zalihe uz držanje relativno malo sigurnosnih zaliha. (Vouk, 2005:1026) Ukoliko se želi konkurirati brzim zadovoljenjem narudžbi kupaca, tada je potrebno zalihe držati blizu kupaca i u većim količinama. S druge strane centralizirano držanje zaliha povećalo bi efikasnost opskrbnog lanca. (Tomić, 2015:44)

Strategije opskrbnog lanca će biti detaljnije analizirane kasnije u radu. Autor također ističe kako je primarna funkcija zaliha u opskrbnom lancu zaštita od neizvjesnosti, a pošto njihovo držanje predstavlja trošak potrebno ih je držati na optimalnoj razini. Zalihe kao element upravljanja opskrbnim lancem trebaju zadovoljiti potražnju uz istovremeno upravljanje troškovima držanja tih istih zaliha. (Luetić, 2013:106-111)

Ujedno zalihe su jedan od glavnih uzroka tromosti lanca, jer su razina zaliha i pripadni troškovi držanja tih zaliha znatni. Zbog toga je potrebno upravljati zalihama i to je jedan od važnijih logističkih zadataka. Potrebno je ispitati odnose između različitih sudionika i njihov utjecaj na formiranje efikasne politike zaliha svakog sudionika. Jedan od sustava je just in time, a koji se bazira na tome da zalihe trebaju biti dostupne kada su poduzeću potrebne, ništa prije i ništa kasnije. (Gašparini, 2013:9-16-26) Također sudionici opskrbnog lanca međusobno razmjenjuju informacije. Ovdje je također vidljiva povezanost zaliha i opskrbnog lanca, jer oni razmjenjuju informacije o zalihama i to o lokaciji zaliha u skladištu, obujmu zaliha, roku trajanja i sl. (Knego, Renko, Knežević, 2013:19) Povezano sa razmjenom informacija razvijena je elektronička razmjena podataka, koja osigurava izravnu vezu između kupčeve baze podataka i baze dobavljača. Uz navedeni sustav razvijeni je i sustav brze reakcije, koji povezuje informacijski sustav i logistički menadžment. On zapravo predstavlja sustav upravljanja zalihama, oblikovan da skрати vrijeme prihvata robe, smanjujući ulaganja u zalihe i poboljšavajući razinu usluga i smanjujući troškove distribucije. Zapravo njegova je namjera stvoriti „just in time“ sustav nadopune zaliha između dobavljača i maloprodavača. (Vouk, 2005:1018-1019)

3.7. Strategije upravljanja opskrbnim lancem

Kako bi se učinkovito upravljalo opskrbnim lancem, potrebno je imati odgovarajuću strategiju, zbog toga tvrtke trebaju donijeti odgovarajuću strategiju. Poznato je kako je strategija temelj daljnjeg poslovanja. Kao što je već istaknuto u poglavlju vezanom uz kvalitetu efikasno funkcioniranje opskrbnih lanaca ima veliki utjecaj na poslovanje i opstanak poduzeća, zbog toga je potrebno razvijati strategije opskrbnog lanca počevši od kupčevih sadašnjih i budućih potreba. (Luetić, 2013:121) Postoje brojne strategije upravljanja opskrbnim lancem, a jedna od njih se može prikazati kroz matricu prikazanu na sljedećoj slici.

		kompleksnost	
		visoka	niska
strateška važnost	visoka	suradnja	kordinacija
	niska	kooperacija	otvoreno tržišno pregovaranje

Slika 3. Matrica strategija upravljanja opskrbnim lancem (Izvor: Luetić, A.

(2013) Poslovna inteligencija i upravljanje opskrbnim lancem, str. 121)

Iz slike je vidljivo da kada su kompleksnost i strateška važnost visoke koristi se strategija suradnje, s druge strane kada su niski koristi se otvoreno tržišno pregovaranje. Kada je kompleksnost niska, a strateška važnost visoka koristi se koordinacija, a dok je strateška važnost niska, a kompleksnost visoka koristi se kooperacija. Postoje brojni elementi koji se koriste prilikom definiranja strategije, zbog toga postoji veliki broj različitih strategija. Literatura također navodi kako postoje push i pull strategije opskrbnog lanca. Push strategija predstavlja dugoročno predviđanje potražnje na temelju zahtjeva i narudžbi distributera, a temeljem njih formira se plan za nabavu, proizvodnju i distribuciju. U ovoj strategiji se okrupnjavaju robni tokovi što rezultira racionalizacijom opskrbnog lanca, međutim ukoliko se strategijom ne upravlja na adekvatan način dolazi do gomilanja zaliha. S druge pak strane pull strategija temelji se na praćenju stvarne potražnje kupaca te temeljem toga poduzeće koordinira i usklađuje nabavu, proizvodnju i distribuciju. Na taj način smanjuju se troškovi skladištenja i gomilanja zaliha, ali zbog nepostojanja zaliha teže je brzo reagirati na promjene potražnje. (Kralj, 2015:29-30)

3.8. Mjerenje djelotvornosti opskrbnog lanca

Zalihe također imaju važnu ulogu u mjerenju djelotvornosti opskrbnog lanca. Literatura ističe kako se djelotvornost opskrbnog lanca pokazuje u koristima za kupce kada se radi o manjim nestašicama i željenom asortimanu, a te koristi donose veće prodaje, više obrtaja zaliha i niža sniženja za maloprodavače. Kao što je već istaknuto zalihe imaju ulogu u mjerenju

djelotvornosti, jer djelotvornost opskrbnog lanca može biti mjerena na osnovi veličine ulaganja u zalihe u opskrbnom lancu. Samo ulaganje u zalihe je mjereno razmjerno prema ukupnome trošku roba koje su osigurane kroz opskrbi lanac. (Vouk, 2005:1023) Kako bi se utvrdila djelotvornost opskrbnog lanca koriste se obrtaj zaliha i tjedni opskrbe. Prva mjera djelotvornosti obrtaj zaliha koja se izračunava iz sljedeće formule:

$$\text{Obrtaj zaliha} = \frac{\text{Trošak prodane robe (godišnji)}}{\text{Prosječna vrijednost ukupne zalihe}}$$

Druga mjera djelotvornosti je u mnogim situacijama bolja, a ona mjeri kolika je tjedna vrijednost zaliha u sustavu u određenoj vremenskoj točki. Ona se izračunava iz sljedeće formule:

$$\text{Tjedni opskrbe} = \left(\frac{\text{Prosječna vrijednost ukupne zalihe}}{\text{Trošak prodane robe}} \right) \times 52 \text{ tjedna}$$

Također važno je istaknuti ukoliko se radi o poslovanju s niskim zalihama bolja su jedinica vremena za mjerenje opskrbe dani ili čak sati. Pošto zalihe iziskuju novčana sredstva koja mogu biti iskorištena u druge svrhe, cilj je imati zalihe u pravom iznosu na točnoj lokaciji u opskrbnom lancu. Kako bi se imalo točan iznos zaliha na svakoj poziciji potrebna je analiza opskrbnog lanca povezana s analizom konkurentskih prednosti. (Vouk, 2005:1023)

Djelotvornost opskrbnog lanca također se može mjeriti mjerama profitabilnosti. Cilj svakog poslovanja je ostvariti što veći povrat na ulaganje, a navedeno se prikazuje mjerama profitabilnosti. Profitabilnost imovine koristi se za mjerenje djelotvornosti opskrbnog lanca, a u nastavku je prikazana formula:

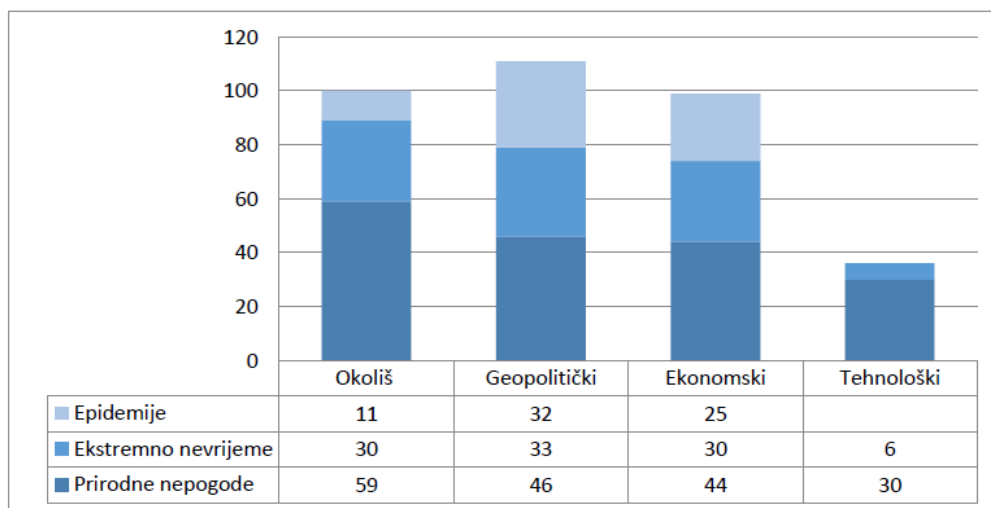
$$\text{Profitabilnost imovine} = \frac{\text{Neto profit nakon oporezivanja}}{\text{Neto prodaja}} \times \frac{\text{Neto prodaja}}{\text{Ukupna imovina}}$$

Autor ističe kako djelotvorni opskrbi lanac i informacijski sustav mogu povećati neto profit i neto prodaju. Samu neto prodaju može povećati opskrbljivanjem kupaca boljim asortimanom, a neto profit može se povećati ili povećanjem bruto marže ili smanjivanjem rashoda. (Vouk, 2005:1026) Važno je također istaknuti da svaka strategija opskrbnog lanca donosi određen financijski učinak, a autor navodi kako se navedeno može mjeriti. On navodi da racionalizacija može utjecati na poboljšanje neto marže za 1 – 4%, sinkronizacija može utjecati na povećanje povrata od neto imovine za 1 – 4%, adaptacija može povećati bruto maržu za 5 – 7% te da inovacija može utjecati na povećanje prihoda do 10%. (Luetić, 2013:131) Djelotvornost

opskrbnog lanca može se pratiti kroz izvrsnost, a autor navodi da postoje dvije vrste mjerenja izvrsnosti. Prva je operativna izvrsnost i uključuje isporuku kakva je obećana kupcu te držanje troškova pod kontrolom, a obuhvaća mjeru narudžbe i ukupne troškove opskrbnog lanca. S druge strane teže je mjeriti inovacijsku izvrsnost, koja uključuje vrijeme isporuke proizvoda kupcu te povrat na lansirani novi proizvod. (Luetić, 2013:135)

3.9. Rizici u opskrbnom lancu

Na samom kraju treba još istaknuti da postoje elementi koji mogu poremetiti normalno funkcioniranje opskrbnog lanca, kao npr. nesigurnost potražnje, dobavljača, proizvodnje tj. nagle promjene u poslovnom okruženju. Zbog toga je potrebno istaknuti kako postoje broji rizici u opskrbnom lancu. Jedan od rizika vezani je uz okoliš, jer opskrbeni lanac i transportnu mrežu najlakše mogu poremetiti različite vremenske nepogode. Sljedeću skupinu čine geopolitički rizici koji uključuju terorizam, organizirani kriminal, korupciju i sl. Naposljetku ekonomski rizici nastaju zbog negativnog utjecaja koji je posljedica promjene u potražnji, a ovaj rizik također nastaje zbog ograničenja na granicama prilikom uvoza i izvoza. (Ivković, 2015:27) Sljedeća slika prikazuje ranije spomenute rizike i njihov utjecaj na opskrbeni lanac.



Slika 4. Utjecaj pojedinih rizika na opskrbeni lanac (Izvor: Ivković, L. (2015)

Upravljanje rizicima u opskrbnom lancu, str. 28)

Iz slike je vidljivo da najveći utjecaj ima geopolitički rizik, nakon čega slijedi rizik okoliša. Svaki se rizik od tri pojedine kategorije. Stoga je iz slike vidljivo da kod okoliša prvu kategoriju

čine prirodne nepogode koje imaju utjecaj od 59%, sljedeću kategoriju čini ekstremno nevrijeme sa utjecajem od 30%, a posljednju kategoriju čine epidemije sa utjecajem od 11%

4. MATEMATIČKO-STATISTIČKE METODE UPRAVLJANJEM LANCEM OPSKRBE

U sljedećem poglavlju prikazati će se matematičko statističke metode kojima se može pratiti kvaliteta opskrbnog lanca te da li dobro funkcionira. Kroz razne primjere navesti će se način na koji možemo unaprijed planirati vođenje opskrbnog lanca kako bi postigli što manje troškove.

4.1. LINEARNO PROGRAMIRANJE

Linearno programiranje optimizacijska je metoda kojom se određuje optimalna vrijednost linearne funkcije više varijabli (tzv. funkcije cilja) obzirom na neke zadane linearne uvjete koje varijable moraju zadovoljavati. Počeci linearnog programiranja sežu u razdoblje Drugog svjetskog rata gdje se koristilo za potrebe minimiziranja troškova vojske, vojne taktike i sl., a osobiti razvoj je uslijedio nakon 1947. godine kada je američki matematičar A. Danzig razvio vrlo učinkovitu metodu (tzv. simpleks metoda) za numeričko rješavanje problema linearnog programiranja. Simpleks metoda je i danas osnovna metoda linearnog programiranja. U današnje vrijeme, koristeći računala, linearno programiranje nezaobilazna je metoda u mnogim područjima gdje se javljaju vrlo složeni problemi optimizacije (kao npr. problem transporta, energije, telekomunikacija, proizvodnje i dr.)

S matematičkog stajališta razlikuju se tri tipa problema linearnog programiranja : (Dobrenić, 1978:28.)

1. Standardni problem (U standardnom problemu ograničenja su izražena sistemom nejednadžbi. Svakom standardnom problemu maksimuma korespondira određeni problem minimuma koji se zove dual originalnog problema.)
2. Kanonski problem (U kanonskom problemu ograničenja su izražena sistemom jednadžbi. Standardni i kanonski problemi su ekvivalentni u tom smislu da se jedan uvijek može transformirati u drugi. Da se standardni problem za maksimum promijeni

u kanonski, potrebno je samo sistem nejednadžbi dopuniti s m dopunskih varijabli x_{n+1} .)

3. Opći problem (u općem problemu linearnog programiranja ograničenja se izražavaju sistemom jednadžbi i nejednadžbi. Ako su u ograničenjima izostavljene jednadžbe, tada se opći problem linearnog programiranja reducira na standardni, kao svoj specijalni slučaj, a ako su u ograničenjima izostavljene nejednadžbe, tada se opći problem linearnog programiranja reducira na kanonski problem.

Problem linearnog programiranja mora imati tri kvantitativne komponente : . (Dobrenić, 1978:37.)

1. Kriterij i cilj – može se izraziti u naturalnim, novčanim ili drugim pokazateljima, već prema tome kakav se problem analizira. Ako se za kriterij uzimaju troškovi, tada će cilj biti minimiziranje ukupnih troškova programa. Ako se za kriterij uzima neto prihod tada će cilj biti maksimiziranje neto prihoda.

2. Alternativne metode ili procese za postizanje cilja – kada bi se npr. u poljoprivrednoj organizaciji proizvodila samo pšenica na samo jedan način ili proces, tada bi bio problem maksimiziranja neto prihoda veoma jednostavan i ne bi se imalo što analizirati. Međutim u stvarnosti se mogu alternativno uzgajati razne kulture pa se ti problemi mogu rješavati kao problem linearnog programiranja.

3. Ograničene resurse i druga ograničenja – za radno organizaciju ograničenja su definirana fiksnom količinom određenih resursa.

4.1.1. Simpleks metoda

Za rješavanje problema linearnog programiranja razvijeno je mnogo različitih metoda i njihovih varijanata. No, sve se te metode mogu, u stvari, svrstati u dvije osnovne skupine: (Dobrenić, 1978:50.)

- 1) opće metode za rješavanje problema linearnog programiranja i
- 2) metode razvijene za rješavanje specifičnih problema linearnog programiranja.

Kao opća metoda za rješavanje problema linearnog programiranja javlja se simpleks metoda sa svim svojim varijantama, To znači da se pomoću simpleks metode mogu rješavati svi problemi linearnog programiranja. Za rješavanje nekih specifičnih problema linearnog programiranja (problem transporta, problem alokacije odnosno raspoređivanje itd.) razvijene su posebne metode. Rješavanje tih problema pomoću ovih specifičnih metoda je efikasnije i brže, nego njihovo rješavanje pomoću simpleks metode. (Dobrenić, 1978:51.)

Rješavanje standardnog problema linearnog programiranja za maksimum

Standardni problem linearnog programiranja za maksimum formuliran u matematičkom obliku glasi:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_sx_s + \dots + c_nx_n \rightarrow \max.$$

Uz ograničenje

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{15}x_5 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{25}x_5 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{r1}x_1 + a_{r2}x_2 + \dots + a_{r5}x_5 + \dots + a_{rn}x_n \leq b_r$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{m5}x_5 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

i

$$x_1, x_2, \dots, x_5, \dots, x_n \geq 0$$

Pri tome su:

b_i – bilo koji pozitivni brojevi,

c_i i a_{ij} bilo koji realni brojevi, m (broj linearnih ograničenja) i

n (broj strukturalnih varijabli) – su bilo koji prirodni brojevi.

Za rješavanje standardnog problema linearnog programiranja upotrebljava se simpleks metoda. Mora se razlikovati simpleks metodu, koja polazi s linearnim problemom u standardnom obliku i simpleks algoritam koji polazi s kanonskim oblikom, a sastoji se od niza složenih operacija i čini glavni dio subrutine simpleks metode.

Prema tome, da bi se mogao primijeniti simpleks algoritam potrebno je standardni oblik prevesti u kanonski oblik problema. Zbog toga prva faza simpleks metode sastoji se u tome da se sistem nejednadžbi standardnog problema uvođenjem dopunskih varijabli pretvori u sistem jednadžbi i na taj način dobije kanonski problem.

Iz sistema nejednadžbi je vidljivo da je lijeva strana nejednadžbi manja ili jednaka desnoj strani. Dozvoljava se, dakle, da lijeva strana bude manja od desne. Ako taj dozvoljeni manjak dodamo lijevoj strani, ona postaje jednaka desnoj. Taj manjak mora biti pozitivan ili jednak nuli, a označava se s x_{n+1} . Te varijable nazivaju se dopunskim varijablama i one, kako je već ranije bilo rečeno, moraju udovoljavati zahtjevu nenegativnosti, tj. $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+r}, x_{n+m} \geq 0$

Standardni problem linearnog programiranja za minimum formuliran u matematičkom obliku glasi:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \min.$$

Uz ograničenje

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{15}x_{15} + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{25}x_5 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

i

$$x_1, x_2, \dots, x_5, \dots, x_n \geq 0$$

Da bi se ovaj problem mogao rješavati pomoću simpleks algoritma, potrebno ga je također prevesti u kanonski oblik. Prema prvom koraku simpleks metode sistem nejednadžbi uvođenjem

dopunskih varijabli pretvara se u sistem jednažbi. Iz sistema nejednažbi vidi se da su lijeve strane nejednažbi veće ili jednake desnoj strani.

4.1.1.1. Simpleks postupak

- 1) u početnoj simpleks tablici pronađemo najveću apsolutnu vrijednost u redu Z_j-C_j i zaokružimo taj stupac – **vodeći stupac**
- 2) **vodeći red** se dobije tako da se **elementi vektora količine** podijele sa **vrijednostima elemenata vodećeg stupca** i tamo gdje je **najmanji kvocijent**, određujemo **vodeći red**
- 3) na presjeku vodećeg stupca i vodećeg reda – **stožerni element**
- 3) provodimo simpleks postupak za dobivanje tablice prve iteracije
 - a) elemente vodećeg reda dijelimo sa vrijednošću **stožernog elementa**, koji se nalazi na presjecištu vodećeg reda i vodećeg stupca, a dobivene vrijednosti upisujemo u novu tablicu – novi vektor ulazi u bazu
 - b) vodeći stupac iz prethodne iteracije postaje jedinični vektor u slijedećoj iteraciji
 - c) ako u vodećem redu postoje nule, možemo prepisati pripadni stupac, a ako u vodećem stupcu postoje nule možemo prepisati pripadni red
 - d) ostala nepopunjena mjesta u simpleks tablici popunjavamo na način da uzmemo odgovarajući element iz tablice prethodne iteracije te od njega oduzmemo umnožak elemenata novo izračunate vrijednosti iz novog vektora u bazi i pripadnih elemenata vodećeg stupca prethodne iteracije
- 4) Ako je barem jedan $Z_j-C_j < 0$ nije postignuto optimalno rješenje, pa se postupak ponavlja sve dok u redu Z_j-C_j više ne bude negativnih vrijednosti

4.2. TRANSPORTNI PROBLEM LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Problem transporta javlja se u praksi u različitim oblicima ovisno o broju vrsta jedinica koje se prevoze ili raspoređuju, broju vrsta i tipova prijevoznih sredstava, broju ishodišta i odredišta ili pak načinu prijevoza tereta (Dušak, 1979).

Transportni problem čini dio problema linearnog programiranja koji se bavi prijevozom istovrsnog tereta iz više ishodišta u više odredišta. Ishodišta imaju fiksnu ponudu a_i , ($i=1,2,\dots,m$), a odredišta fiksnu potražnju b_j , ($j=1,2,\dots,n$). Svrha rješavanja ove vrste problema je minimaliziranje transportnih troškova između ishodišta i odredišta (Dušak, 1979).

Funkcija cilja Z je minimalizacija ukupnih troškova transporta, a sastoji se od umnoška jediničnih troškova prijevoza C_{ij} i količine tereta x_{ij} koji se prevozi iz i -tog ishodišta u j -to odredište (Barković, 2001).

Transportni problemi uz sebe nose i određena ograničenja vezana za odredišta i ishodišta. Za svako ishodište i postoji zahtjev da se sva moguća količina tereta a_i transportira u odredišta j u kojima postoji potreba za teretom (Barković, 2001:118).

Ograničenja koja je potrebno zadovoljiti da bi se mogla ostvariti funkcija cilja su (Dobrenić, 1978:173)

$$\begin{array}{ll}
 x_{11}+x_{12}+\dots+x_{1n}=a_1 & x_{11}+x_{21}+\dots+x_{m1}=b_1 \\
 x_{21}+x_{22}+\dots+x_{2n}=a_2 & x_{12}+x_{22}+\dots+x_{m2}=b_2 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 x_{m1}+x_{m2}+\dots+x_{mn}=a_m & x_{1n}+x_{2n}+\dots+x_{mn}=b_n
 \end{array}$$

te obavezan uvjet nenegativnosti $x_{ij} \geq 0$.

Transportni problem sastoji se od $m+n$ jednadžbi i $m \cdot n$ varijabli. Zbog toga što sustav sadrži $m+n-1$ neovisnih jednadžbi, rješenje jednadžbe mora sadržavati isto toliko vrijednosti varijable

x_{ij} . Takvo rješenje se onda naziva nedegeneriranim. U situaciji kada sustav ne sadrži $m+n-1$ vrijednosti x_{ij} rješenje je degenerirano i mora se nadopuniti kako bi se pretvorilo u nedegenerirano. (Dobrenić, 1978:133.-136.)

Postoje dvije vrste transportnog problema, a to su otvoreni i zatvoreni. Zatvoreni transportni problem je onaj kod kojeg je ukupna ponuda ishodišta jednaka ukupnoj potrebi odredišta. Ova situacija je u stvarnosti rijetka pa se češće nailazi na tzv. otvoreni transportni problem kod kojeg dolazi do razilaženja u ravnoteži između ishodišta i odredišta (Dobrenić, 1978).

4.2.1. Metode za rješavanje transportnog problema

Za rješavanje transportnog problema linearnog programiranja postoji nekoliko metoda sa specijalno razrađenim algoritmima te ih se svrstava u dvije skupine (Dobrenić, 1978:140):

1. metode koje zahtijevaju postavljanje početnog programa (metoda relativnih troškova, MODI – metoda)
2. metode koje ne zahtijevaju postavljanje početnog programa (Ford-Fulkersonova metoda, metoda razrješavajućih pribrojnika)

Metode koje zahtijevaju postavljanje početnog programa polaze od nekog početnog programa kojeg dalje poboljšavaju sve dok se ne dobije optimalni program transporta. S druge strane, metode koje ne zahtijevaju postavljanje početnog programa postupno razvijaju program sve dok ne dođu do onog optimalnog. Valja spomenuti da one imaju i nešto kompliciraniji algoritam od metoda koje zahtijevaju postavljanje početnog programa (Dobrenić, 1978:141,142).

Metode koje zahtijevaju postavljanje početnog programa za njegovo postavljanje koriste sljedeće metode (Dobrenić, 1978:141):

1. metoda sjeverozapadnog kuta
2. metoda najmanjih troškova
3. metoda dvojnog prvenstva
4. Vogelova aproksimativna metoda

Metoda sjeverozapadnog kuta naziva se još i dijagonalna metoda koja omogućava postavljanje početnog bazičnog nedegeneriranog programa u kojem je broj zauzetih polja

jednak $m+n-1$. Ovom metodom raspored tereta započinje se u gornjem lijevom kutu tzv. sjeverozapadnom kutu gdje se na polje 1,1 stavlja maksimalna količina tereta koja je moguća s obzirom na kapacitete ishodišta I_1 i potrebe odredišta O_1 . Ukoliko je kapacitet ishodišta I_1 potpuno iskorišten prelazi se na polje 2,1 i ishodište I_2 kako bi se zadovoljile potrebe odredišta O_1 . U suprotnom, ako su zadovoljene potrebe odredišta O_1 , a kapacitet ishodišta I_1 nije iskorišten do kraja prelazi se na polje 1,2. Postupak se ponavlja do desnog kuta, polja m,n dok svi kapaciteti nisu iskorišteni i sve potrebe zadovoljene (Dobrenić, 1978:142.-144.)

Metoda minimalnih troškova pruža bolji početni raspored tereta od prethodne metode što znači da je teret raspoređen na optimalniji način. Ova metoda vodi računa o visini troškova, a ne samo o potrebama odredišta i kapacitetima ishodišta. Kako bi se teret rasporedio potrebno je prvo u matrici troškova pronaći onaj najniži. U to polje upisuje se najveća moguća količina tereta uzimajući u obzir kapacitete ishodišta i potrebe odredišta. Kada se iskoristi kapacitet određenog ishodišta ili se zadovolji potreba nekog od odredišta taj stupac, odnosno redak isključuje se iz daljnjeg razmatranja. Postupak se ponavlja tako dugo dok svi kapaciteti nisu potrošeni i potrebe zadovoljene. U usporedbi s početnim programom postavljenim po metodi sjeverozapadnog kuta, ovaj početni program je znatno bliži optimalnom programu, a njegovo postavljanje ne zahtjeva znatno više rada. (Dobrenić, 1978:145.-146.)

Vogelova aproksimativna metoda najefikasnija je u dobivanju početnog rasporeda tereta te je njezino rješenje najbliže optimalnom, ako ne i optimalno. U prvom koraku metode potrebno je u svakom redu i svakom stupcu pronaći dva najmanja troška i između njih odrediti razliku koja se upisuje u stupac „razlika reda“ ili „razlika stupca“. U sljedećem koraku pronalazi se najveća razlika redaka ili stupaca. U onom retku ili stupcu u kojem je najveća razlika troškova pronalazi se najmanji trošak i u to se polje upisuje maksimalna količina tereta. Postupak se ponavlja dok se svi kapaciteti ne iskoriste i potrebe zadovolje. (Dobrenić, 1978:147.-149.)

Metoda relativnih troškova naziva se još i metoda skakanja s kamena na kamen. Postupak dobivanja optimalnog programa po toj metodi sastoji se u tome da se bazični program poboljšava sve dok se ne dođe do optimalnog programa. U početku potrebno je izračunati relativne troškove (C_{ij}^*) za sva nezauzeta polja. Rezultati, odnosno troškovi mogu biti pozitivni i negativni brojevi koji pokazuju koliko bi se troškovi po jedinici tereta povećali, tj. smanjili. Sve dok se u bilo kojem polju nalazi pozitivan trošak nije postignuto optimalno rješenje te je potrebo napraviti novi raspored tereta. Kako bi se izračunali relativni troškovi potrebno je

odrediti zatvoreni put na temelju zauzetih polja i to na temelju sljedećih pravila (Dobrenić, 1978:150.-157.):

1. bilo koja uzastopna polja moraju se nalaziti u istom stupcu ili redu,
2. tri uzastopna polja ne mogu se nalaziti u istom stupcu ili redu,
3. posljednje polje mora se nalaziti u istom stupcu ili redu u kojem se nalazi i polje za koje računamo relativni trošak.

MODI metoda kao i metoda relativnih troškova služi za dobivanje optimalnog rješenja te kao i ona mora imati početni raspored tereta. MODI metoda je modificirana i specijalizirana simpleks metoda za rješavanje transportnog problema. Ova metoda izračunava relativne troškove uz pomoć dualnih varijabli, tj. za svaki red i izračunava se vrijednost u_i te za svaki stupac j vrijednost v_j . Kako bi se to moglo učiniti polazi se od pretpostavke da je $u_1=0$. Za sva nezauzeta polja izračunavaju se relativni troškovi prema sljedećoj formuli (Dobrenić, 1978:158):

$$C^*_{ij} = u_i + v_j - C_{ij}$$

4.2.2. Primjene transportnih problema

Osim primjena u transportu između tvornica i skladišta, skladišta i prodavaonica i sl., transportni se problem koristi i za rješavanje složenog problema lokacije višestrukih kapaciteta. To je problem traženja najpovoljnijih lokacija za veći broj centara različitog kapaciteta (npr. tvornica, skladišta i prodavaonica) koji se mogu smjestiti na veći broj mogućih lokacija. Traži se rješenje koje daje najmanje ukupne transportne troškove. Ovaj se problem može riješiti tako da se za svaku moguću kombinaciju smještaja centara na skupinu mogućih lokacija riješi odgovarajući transportni problem, čime se za svaku takvu kombinaciju dobije optimalno rješenje transporta za koje je vrijednost ukupnih transportnih troškova minimalna. Usporedba optimalnih rješenja različitih kombinacija smještaja centara na skupinu mogućih lokacija daje lokaciju koja je najpovoljnija s obzirom na transportne troškove (ili više takvih lokacija) (Čerić, 2004.:101).

Autorica Dušak, V. ističe da se transportni problem linearnog programiranja može u praksi primijeniti na različita područja. Područje prometa i problemi vezani uz promet naročito su pogodni za primjenu ove metode linearnog programiranja, što ne znači da se ne mogu

primjenjivati i u mnogim drugim situacijama. Rezultati te primjene jesu optimalan raspored transportnih sredstava na pojedine relacije (ili drugih proizvodnih sredstava na pojedine operacije), optimalan raspored tereta koji se prevozi između pojedinih lokacija, minimiziranje vremena transporta, pravilan izbor lokacije pogona i si. Primjena metoda Operacijskih istraživanja, a s time i linearnog programiranja, tim više je opravdana ako se istakne cilj primjene tih metoda. U jednom slučaju taj cilj je maksimalan prihod, a u nekom drugom slučaju minimalni troškovi, a upravo to su i ciljevi poslovanja svake organizacije (Dušak, 1979.: 371).

4.2.3. Otvoreni transportni problem sa suviškom u ponudi

U praksi se često sreću transportni problemi s izvjesnim razlikama između ukupne količine otpreme (ponude, kapaciteta ishodišta) ili pak ukupne količine primanja (potražnje, potrebe odredišta). Otvoreni transportni problem sa suviškom u ponudi može se koristiti za analizu lokacija ishodišta, izvora sirovina kao i eventualnu eliminaciju nekih od izvora opskrbljivanja zbog visokih proizvodnih i prijevoznih troškova. Kao što je već spomenuto, otvoreni transportni problem polazi od pretpostavke da su kapaciteti ishodišta veći od potreba odredišta (Dobrenić, 1978). Takav se otvoreni transportni problem rješava tako da se svede na zatvoreni transportni problem uvođenjem novoga fiktivnog odredišta koje sadrži razliku između ukupne ponude i potražnje (Čerić, 2004).

Model otvorenog transportnog problema sa suviškom u ponudi ima sljedeći oblik (Dobrenić, 1978:174):

uz ograničenja

$x_{ij} \geq 0$ za svaki par i, j .

$i = 1, 2, \dots, m$

$j = 1, 2, \dots, n$

iz čega slijedi da prikazuje veće kapacitete ishodišta od potreba odredišta.

Kako bi se ovaj problem mogao riješiti potrebno je sustav nejednadžbi svesti na sustav jednadžbi uvođenjem još jednog fiktivnog odredišta koje će "apsorbirati" sve suvišne količine

ishodišta. Troškovi prijevoza od svih ishodišta do imaginarnog odredišta označavaju se sa 0 pa tako fiktivno odredište ne utječe na visinu programiranih troškova jer su njegovi ukupni troškovi jednaki (Dobrenić, 1978:174):

Uvođenjem dopunskih varijabli u model dobiva se ravnoteža otpreme i primanja (Dobrenić, 1978:175):

Tablica 1. Transportni problem sa suviškom u ponudi

Ishodišta	Odredišta				Količina otpreme			
	B ₁	B ₂ B _n	B _{n+1}					
A ₁	x ₁₁	+	x ₁₂	+ ... +	x _{1n}	+	x _{1, n+1}	= a ₁
A ₂	x ₂₁	+	x ₂₂	+ ... +	x _{2n}	+	x _{2, n+1}	= a ₂
.
.
.
A _m	= a _m
	x _{m1}	+	x _{m2}	+ ... +	x _{mn}	+	x _{m, n+1}	
Količina primanja	=b ₁		=b ₂	...			=b _n	
			=b _{n+1}					

Izvor: Dobrenić, 1978:176

4.2.4. Otvoreni transportni problem sa suviškom u potražnji

Kod otvorenog transportnog problema s viškom u potražnji problem se javlja jer je suma potrebe odredišta veća od sume kapaciteta ishodišta, tj potražnja je veća od ponude. Iako izgleda nelogično da postoji višak u primanju (odnosno potražnji) on se itekako pojavljuje i veoma je interesantan pri analiziranju određenih institucionalnih i drugih odluka. Njime se želi postići likvidiranje najnepovoljnijeg mjesta ili nepotrebnih ulaganja čiji kapaciteti nisu dovoljno iskorišteni. Suvišak u potražnji dešava se najčešće prilikom integracije, npr. da se u jednoj

velikoj poljoprivrednoj organizaciji nalazi više mješaonica, odnosno više potrošača stočne hrane, farmi, staja i sl. Njegov model ima sljedeći oblik (Dobrenić, 1978.: 173).:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min$$

Uz ograničenja:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j$$

$x_{ij} \geq 0$ za svaki par i, j .

$i = 1, 2, \dots, m$

$j = 1, 2, \dots, n$

iz čega dalje slijedi:

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$$

što odražava veće potrebe odredišta od kapaciteta ishodišta.

Kako bi se ovakav problem mogao rješavati po nekoj od metoda za rješavanje problema linearnog programiranja potrebno je pomoću dopunskih varijabli sistem nejednadžbi svesti na sistem jednadžbi. To se radi na način da se u model unese jedno fiktivno ishodište pomoću kojeg bi se podmirio suvišak u zahtjevima odredišta. Oznaka tog ishodišta je A_{m+1} , a dopunske varijable $x_{m+1,j}$ (Dobrenić, 1978.: 173).

Ovo ishodište ne utječe na visinu programiranih troškova jer troškovi prijevoza od fiktivnog ishodišta do svih odredišta su $c_{m+1,j}=0$ (Dobrenić, 1978.: 173).

Uvođenjem dopunskih varijabli u model dobiva se (Dobrenić, 1978.: 173).:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min$$

Uz ograničenja:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} + x_{m+1,j} = b_j$$

$$\sum_{j=1}^n x_{m+1,j} = a_{m+1}$$

I odatle dalje ravnoteža otpreme i primanja (ponude i potražnje):

$$\sum_{i=1}^m a_i + a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j$$

U Tablici 2. je prikazan tabelarni prikaz tog problema

Tabela 1. Transportni problem sa suviškom u potražnji (vlastita izrada prema: Dobrenić, 1978.:173).

Ishodišta	Odredišta				Količina otpreme
	B ₁	B ₂	...	B _n	
A ₁	x ₁₁	+ x ₁₂	+ ...	+ x _{1n}	= a ₁
A ₂	x ₂₁	+ x ₂₂	+ ...	+ x _{2n}	= a ₂
.
.
.
A _m	x _{m1}	+ x _{m2}	+ ...	+ x _{mn}	= a _m
A _{m+1}	x _{m+1,1} + x _{m+1,2} + ... + x _{m+1,n}				= a _{m+1}
Količina primanja	=b ₁	=b ₂	...	=b _n	$\sum_{i=1}^m a_i + a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j$

U transportnom problemu može doći i do slučaja degeneracije ako se u nekom dopuštenom rješenju pojavi manje od $m + n - 1$ pozitivnih x_{ij} . U tom slučaju izabire se broj polja koja manjkaju na taj način da: taj broj polja plus zaposjednuta polja daju $m + n - 1$, i da su $m + n - 1$ nezavisna polja. Tada se svakom polju dodaje fikcija (pozitivna veličina) koja ne mijenja bitno prvobitan problem ni prvobitan karakter dodjele, a dovoljna je da se provede iteracija (Barković, 2002.,: 138).

4.3. MODELI ZALIHA

Modeli zaliha služe za rješavanje problema sistema zaliha u organizacijama. Cilj sistema je imati pravi resurs u dovoljnoj količini u pravo vrijeme i na pravom mjestu. Sistem zaliha obuhvaća veliko područje problema u organizacijama kao npr. problem optimalnih narudžbi, uskladištenje materijala, optimalne zalihe proizvoda i poluproizvoda, problem optimalne veličine proizvodnih naloga. S obzirom na kompleksnost problemi zaliha mogu biti jednostavni s jednom nepoznicom i kompleksni s više nepoznanica. S obzirom na izvjesnost problemi zaliha mogu biti deterministički (čije je ponašanje unaprijed predvidivo) ili vjerojatni odnosno stohastički (čije se ponašanje ne može unaprijed predvidjeti). Za rješavanje problema zaliha danas postoji veoma mnogo razrađenih matematičkih tehnika. (Dobrenić, 1978. :417-418)

- Jednostavni deterministički problemi s jednom nepoznicom rješavaju se običnim postupcima računanja za rješavanje problema s jednom nepoznicom.
- Kompleksni deterministički problemi zaliha s više nepoznanica i ograničenja rješavaju se linearnim i nelinearnim programiranjem
- Višestapni deterministički i stohastički problemi rješavaju se dinamičkim programiranjem

4.3.1. Politika zaliha

Politika zaliha u organizacijama, s obzirom na odnos zaliha i narudžbi može se voditi tako: (Dobrenić, 1978.: 419)

1. da se povremeno može pojaviti nedostatak zaliha
2. da razina zaliha može pasti na nulu, ali ni privremeno se ne smije pojaviti nedostatak
3. da zalihe mogu pasti najviše do razine minimalnih zaliha
4. da se može naručiti u tolikim količinama da se nakon primitka materijala ne smije premašiti određena maksimalna zaliha

4.3.2. Troškovi zaliha

Dva su tipa troškova koji su vezani za neiskorištene zalihe zbog čega dovodi do troškova : (Dobrenić, 1978.: 420)

1. troškovi koji rastu, ako zalihe rastu
2. troškovi koji opadaju, ako zalihe rastu

Troškovi koji rastu ako zalihe rastu poznati su još kao troškovi držanja zaliha odnosno uskladištenja, s obzirom da oni nastaju u vezi s održavanjem i manipulacijom vlastitih zaliha na skladištu. Ti troškovi obuhvaćaju : (Dobrenić, 1978.: 420)

- kamate na obrtna sredstva uložena u zalihe
- - troškove skladišnog prostora koji uključuju troškove grijanja, hlađenja, osvjetljenja tj. najamninu skladišnog prostora.
- troškove kvarenja, kala, zastarjevanja materijala
- troškovi manipulacije materijala
- troškove osiguranja zaliha

Postoje 4 glavne skupine troškova koji opadaju ako zalihe rastu: (Dobrenić, 1978.: 425)

- troškovi nastali uslijed nedostatka zaliha ili isporuke kupcima (gubici uslijed izgubljenih kupaca i prodaje)
- troškovi naručivanja odnosno troškovi lansiranja proizvodnog naloga (priprema, obrada i likvidacija naloga nabave ili proizvodnje)
- nabavna cijena kod većih narudžbi se u pravilu smanjuje zbog količinskog popusta
- troškovi stabilizacije (ako potražnja fluktuirá, a želi se minimizirati zalihe, tada je češće potrebno mijenjati artikle odnosno naloge proizvodnje)

Glavni cilj racionalnog upravljanja zalihama: minimaliziranje ukupnih godišnjih troškova zaliha. Postoje dvije osnovne odluke kod problema zaliha:

- *1) koju količinu naručiti i*
- *2) kada naručiti tu količinu*

Kod donošenja tih odluka postoje dvije suprotne situacije. Jedna govori u prilog *naručivanja velikih količina po jednoj narudžbi* – zbog minimiziranja troškova ukupnih narudžbi, dok druga

govori u prilog *naručivanja malih količina po narudžbi* – zbog minimiziranja troškova uskladištenja materijala. Optimalna odluka je kompromis između tih dviju situacija. (Dobrenić, 1978.: 429)

4.3.3. Izračunavanje optimalnog godišnjeg broja narudžbi

Za postavljanje modela za izračunavanje optimalnog godišnjeg broja narudžbi koristit će se sljedeće označavanje : (Dobrenić, 1978.: 431)

- **N** – optimalni broj narudžbi u jednoj godini kojim se minimiziraju ukupni troškovi zaliha
- **A** – ukupna vrijednost materijala potrebnog u jednoj godini
- **P** – troškovi po jednoj narudžbi
- **C** – troškovi uskladištenja izraženi u postotku od prosječne vrijednosti zaliha

Optimalna točka ukupnih troškova zaliha je točka gdje troškovi narudžbi imaju istu vrijednost kao i troškovi uskladištenja. Riješenje za N dobije se postavljanjem slijedećeg odnosa :

Ukupni godišnji troškovi narudžbi = godišnji troškovi uskladištenja.

Ukupni godišnji troškovi narudžbi = $N * P = NP$

Iznos po jednoj narudžbi = A/N

Prosječna vrijednost zaliha s konstantnim utroškom = $A/N * \frac{1}{2}$

Godišnji troškovi uskladištenja = $A/N * \frac{1}{2} * C = AC/2N$

Izjednačavanjem dobiva se :

$$NP = AC/2N \text{ odnosno } N = \sqrt{\frac{AC}{2P}}$$

Izračunavanje može biti tabelarno i grafičko.

4.3.4. Izračunavanje optimalnog broja jedinica po jednoj narudžbi

Za postavljanje modela za izračunavanje optimalnog broja jedinica po jednoj narudžbi pored već navedenog označavanja koristiti će se još i sljedeće : (Dobrenić, 1978.: 432)

- R – cijena po jednoj jedinici materijala
- Q – optimalan broj jedinica po jednoj narudžbi
- M – ukupan broj jedinica materijala potreban u jednoj godini

Riješenje za Q dobiva se postavljanjem odnosa :

Ukupni godišnji troškovi narudžbi = godišnji troškovi uskladištenja

Godišnji broj narudžbi = M/Q

Ukupni godišnji troškovi narudžbi = $M/Q * P$

Ukupna vrijednost materijala potrebnog u jednoj godini = $M * R$

Iznos po jednoj narudžbi = $MR : \frac{M}{Q} = RQ$

Prosječna vrijednost zaliha materijala s konstantnim $RQ \cdot \frac{1}{2}$ utroškom =

Godišnji troškovi uskladištenja = $RQ \cdot \frac{1}{2} \cdot C = \frac{RQC}{2}$

Izjednačavanjem dobiva se = $\frac{MP}{Q} = \frac{RQC}{2}$

Odatle slijedi $Q^2 = \frac{2MP}{RC}$ odnosno

$$Q = \sqrt{\frac{2MP}{RC}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot M \cdot P}{R \cdot C(\%)}}$$

4.3.5. Izračunavanje optimalnog broja dana opskrbljivanja

Za postavljanje modela za izračunavanje optimalnog broja dana opskrbljivanja tj. Obnavljanja narudžbe pored već navedenog označavanja koristiti će se jos i sljedeće : (Dobrenić, 1978.: 434)

- T – optimalan broj dana opskrbljivanja, odnosno, obnavljanja narudžbe,
- 365 – kalendarski broj dana u godini

I ovdje se rješenje za T dobiva postavljanjem odnosa _

Ukupni godišnji troškovi narudžbi = Godišnji troškovi uskladištenja

Godišnji broj narudžbi = $365 / T$

Ukupni godišnji troškovi narudžbi = $365 / T * P$

Iznos po jednoj narudžbi = $MR : 365 / T = MRT / 365$

Prosječna vrijednost zaliha s konstantnim utroškom = $MRT / 365 * \frac{1}{2}$

Godišnji troškovi uskladištenja = $MRT / 365 * \frac{1}{2} * C = MRTC / 730$

Izjednačavanjem dobiva se : $565P / T = MRTC / 730$

Odnosno $T = \sqrt{\frac{266450 \cdot P}{MRC}}$

4.4. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE

Dinamičko programiranje je grana primijenjene matematike i ne smije se miješati s pojmom Kompjuterskog programiranja koje predstavlja izradu programa za rješavanje određenih problema na elektroničkom računalu.

4.4.1. Problem nabave

Problem nabave je tipičan problem dinamičkog programiranja koji se proteže kroz nekoliko vremenskih razdoblja i zahtjeva niz odluka. Na početku svakog razdoblja donosi se odluka koju količinu treba nabaviti uzevši u obzir planiranu potražnju i skladišne kapacitete. Specificirani su : planirana potražnja, troškovi nabave, troškovi držanja zaliha. Cilj ovog problema je minimizirati troškove za planiranu količinu proizvodnje. (Dobrenić, 1978.: 365)

4.4.1.1. Opis problema

Problem nabave temelji se na slijedećim postavkama : (Dobrenić, 1978.: 366)

1. Nabava u vremenu, koja prethodi promatranom razdoblju je nula
2. Akcija nabave može započeti samo nakon započinjanja razdoblja
3. Ne postoji zaliha na skladištu na početku prvog niti na kraju posljednjeg razdoblja
4. Potražnja se javlja na početku razdoblja
5. Nije dopušten nedostatak robe na zalihi

Kvantitativni podaci za razmatrani problem nabave su slijedeći:

- Planirani problem se proteže kroz tri razdoblja
- Cilj izrade plana je držanje optimalne količine zaliha materijala s obzirom na predviđenu potražnju proizvodnih pogona od 60, 40, 20 komada, kao i racionalno upravljanje novčanim resursima proizvodnog poduzeća.
- Proizvodno poduzeće od svojih dobavljača nabavlja materijal u ratama po 20 komada, sa maksimalnom količinom nabave od 100 komada.

- Dobavljač svoje nabavne troškove obračunava po jednoj nabavi i ti troškovi iznose 500 kn.
- S obzirom da skladištenje navedene robe zauzima značajnu površinu u skladišnom prostoru promatranog poduzeća i po kapacitetu je ograničeno na 40 komada.
- Potrebno je izraditi optimalan plan nabave kroz 3 razdoblja i izračunati ukupne troškove upravljanja zalihama, ako su troškovi skladištenja za promatrani materijal 3 kn po jedinici.

4.4.1.2. Formulacija modela

Pri formulaciji modela problema nabave koriti se slijedeće označavanje : (Dobrenić, 1978.: 367)

$I(i)$ – količina zaliha na kraju razdoblja i ,

$Q(i)$ – količina nabave na početku razdoblja i ,

$D(i)$ – količina potražnje na početku razdoblja i ,

$C_p(i)$ – troškovi nabave za razdoblje i ,

$C_h(i)$ – troškovi držanja zaliha za razdoblje i .

Cilj je minimizirati ukupne troškove na cijelo planirano razdoblje kroz N etapa. To se može izraziti matematičkim izrazom :

N

$$C_t = \sum [C_p(i) + C_n(i)] \rightarrow \min$$

Odluka da se nabavi količina $Q(i)$ na početku razdoblja i , dovest će količinu zaliha na kraju razdoblja $I(i)$, tj.

$$I(i) = I(i-1) + Q(i) - D(i)$$

Iz ovoga dobivamo da su zalihe na početku razdoblja i

$$I(i-1) = I(i) + D(i) - Q(i).$$

S obzirom da količina zaliha ne može prijeći 40 komada, ali ne može ni biti manja od nula dobivamo odnos :

$$0 \leq I(i-1) \leq 40$$

Supstituiranjem desne strane jednadžbe za $I(i-1)$ u ovaj odnos dobiva se

$$0 \leq I(i) + D(i) - Q(i) \leq 40$$

Oduzimanjem izraza $[I(i) + D(i)]$ i množenja s (-1) dobivamo :

$$I(i) + D(i) - 40 \leq Q(i) \leq I(i) + D(i)$$

Ukupni troškovi procesa nabave u promatranom razdoblju ovise o tome da li će se u tom razdoblju obaviti nabava te kolike su prijenosne zalihe u sljedeće razdoblje kao i troškovi koji rezultiraju iz odluka prethodnih razdoblja. Prema tome, ukupni troškovi proseca nabave s N razdoblja mogu se izraziti sljedećom funkcijom : (Dobrenić, 1978.: 367)

$$g(N) [Q(N), I(N)] + f(N-1) [I(N-1)]$$

Optimalni izbor za $Q(N)$ bit će onaj koji minimizira gornju funkciju. Na temelju toga načelo optimalnosti daje sljedeću funkcionalnu jednadžbu koja se može koristiti da bi se pronašao vektor količina koji minimizira ukupne troškove za planiranu količinu prodaje : (Dobrenić, 1978.: 368)

$$f(N) [zalihe(N)] = \min \{ (g(N) [nabava(N), zalihe(N)] + f(N-1) [zalihe(N-1)] \}$$

$$zalihe(i) + potražnja(i) - 40 \leq nabava(i) \leq zalihe(i) + potražnja(i)$$

Supstituiranjem desne strane jednadžbe za $I(N-1)$ dobivamo:

$$f(N) [I(N)] = \min \{ (g(N) [Q(N), I(N)] + f(N-1) [I(N) + D(N) - Q(N)] \}$$

$$I(N) + D(N) - 40 \leq Q(N) \leq I(N) + D(N)$$

4.4.1.3. Računski postupak

Prenesene zalihe u iduće razdoblje mogu biti maksimalno 40 komada, a planirana potražnja u prvom razdoblju iznosi 60 komada. U prvom razdoblju uvijek idu maksimalne zalihe.

Iz čega dobivamo sljedeće :

$$40+60-40 \leq I(1) \leq 40+60$$

$$60 \leq I(1) \leq 100$$

$$f[0]=[60,0]=500+0=500$$

$$f[20]=[80,20]=500+60=560$$

$$f[40]=[100,40]=500+120=620$$

Tablica za prvo razdoblje

Zalihe (1)	Q (1)	f (1)	Q (2)	f (2)	Q (3)	f (3)
0	60	500				
20	80	560				
40	100	620				

Vrijednost drugog razdoblja izračunavamo kada su zalihe 0, 20 i 40 na sljedeći način :

Kada su zalihe 0 :

$$f[0] \rightarrow 0+40-40 \leq I(2) \leq 0+40$$

$$0 \leq I(2) \leq 40$$

$$f[0]=\min$$

$$[0,0]+[0+40-0]=0+0+620=620$$

$$[20,0]+[0+40-20]=500+0+560=1060$$

$$[40,0]+[0+40-40]=500+0+500=1000$$

Za f (2) [0] = 620 odluka je Q (2) = 0 jer su tada najniži troškovi

Kada su zalihe 20:

$$f[20] \rightarrow 20+40-40 \leq I(2) \leq 20+40$$

$$20 \leq I(2) \leq 60$$

$$f[20]=\min$$

$$[20,20]+[20+40-20]=500+60+620=1180$$

$$[40,20]+[20+40-40]=500+60+560=1120$$

$$[60,20]+[20+40-60]=500+60+500=1060$$

Za f (2) [20] = 1060 odluka je Q (2) = 60

Kada su zalihe 40:

$$f[40] \rightarrow 40+40-40 \leq I(2) \leq 40+40$$

$$40 \leq I(2) \leq 80$$

$$f[40]=\min$$

$$[40,40]+[40+40-40]=500+120+620=1240$$

$$[60,40]+[40+40-60]=500+120+560=1180$$

$$[80,40]+[40+40-80]=500+120+500=1120$$

Za $f(2) [40] = 1120$ odluka je $Q(2) = 80$

Dobivene rezultate opet uvrstimo u tablicu.

Tablica za 2.razdoblje :

Zalihe (1)	Q (1)	f (1)	Q (2)	f (2)	Q (3)	f (3)
0	60	500	0	620		
20	80	560	60	1060		
40	100	620	80	1120		

Izračun za treće razdoblje kada su zalihe 0 :

$$f[0] \rightarrow 0+20-40 \leq I(3) \leq 0+20$$

$$0 \leq I(3) \leq 20$$

$$f[0]=\min$$

$$[0,0]+[0+20-0]=0+0+1060=1060$$

$$[20,0]+[0+20-20]=500+0+620=1120$$

Za $f(3) [0] = 1060$ odluka je $Q(3) = 0$

Izračun za treće razdoblje kada su zalihe 20 :

$$f[20] \rightarrow 20+20-40 \leq I(3) \leq 20+20$$

$$0 \leq I(3) \leq 40$$

$$f[20]=\min$$

$$[0,20]+[20+20-0]=0+60+1120=1180$$

$$[20,20]+[20+20-20]=500+60+1060=1620$$

$$[40,20]+[20+20-40]=500+60+620=1180$$

Ovdje smo dobili dva ista rezultata. U tom slučaju uzima se onaj izračun gdje je manja količina nabave. Iz toga slijedi :

Za $f(3) [20] = 1120$ odluka je $Q(3) = 0$

Izračun za treće razdoblje kada su zalihe 40:

$$f[40] \rightarrow 40+20-40 \leq I(3) \leq 40+20$$

$$20 \leq I(3) \leq 60$$

$$f[40]=\min$$

$$[20,40]+[40+20-20]=500+120+1120=1740$$

$$[40,40]+[40+20-40]=500+120+1060=1680$$

$$[60,40]+[40+20-60]=500+120+620=1240$$

Za $f(3) [40] = 1240$ odluka je $Q(3) = 60$

Dobivene rezultate opet uvrstimo u tablicu.

Tablica za 3.razdoblje :

Zalihe (1)	Q (1)	f (1)	Q (2)	f (2)	Q (3)	f (3)
0	60	500	0	620	0	1060
20	80	560	60	1060	0	1180
40	100	620	80	1120	60	1240

Nakon izračunatih vrijednosti potrebno je pronaći zahtjevani niz odluka o količinama nabave kroz 3 razdoblja, čiji rezultat je minimum troškova.

Kretanje količina tijekom promatranih razdoblja

Razdoblje	I (i-1)	Q (i)	D (i)	I (i)	Cp (i)	Ch (1)
1	0	60	60	0	500	-
2	0	60	40	20	500	60
3	20	0	20	0	-	-
Ukupno					1000	60
Sveukupno						1060

4.5. MARKOVLJEVI PROCESI

U stvarnosti nismo u mogućnosti prognozirati budućnost s potpunom sigurnošću. Da jesmo, ne bi bilo suviška proizvodnje, rasprodaje i špekulacija na tržištu, a poslovni promašaji bili bi prava rijetkost. Težnja za smanjenjem nesigurnosti dovodi do organiziranog i sustavnog proučavanje postojećih nesigurnih informacija. Za rješavanje problema, kod kojih se moraju uzimati u obzir slučajne komponente, koriste se stohastički modeli. Najjednostavniji i najčešće korišten stohastički model je tzv. model Markovljevog procesa. (Dobrenić, 1978.: 487)

Markovljev proces je metoda analiziranja tekućeg kretanja neke slučajne varijable u težnji da se predvidi njeno buduće kretanje. Kao sredstvo u upravljanju i rukovođenju Markovljevi procesi se koriste unatrag desetak godina. Služe kao pomoć u marketingu za ispitivanje i predviđanje ponašanja potrošača u pogledu njihove lojalnosti u kupovini proizvoda jednog proizvođača te njihovog prijelaza na proizvod drugog proizvođača. Koriste se i za razna druga istraživanja u marketingu kao npr. za kretanje zaliha i sl. te u drugim područjima poslovanja i znanostima. (Dobrenić, 1978.: 488).

4.5.1. Postupak izgradnje modela i rješavanje problema

Postupak izračunavanja predvidivog učešća pojedinih proizvođača nekog artikla na tržištu pomoću Markovljevog procesa je sljedeći : (Dobrenić, 1978.: 488-489).

1. utvrđivanje kretanja promjena ponašanja potrošača u kupovanju nekog artikla različitih proizvođača
 - a) stanje na početku prvog promatranog razdoblja
 - b) stanje na početku drugog promatranog razdoblja
 - c) kretanje promjena – prijelaza potrošača od jednog na druge proizvođače i obrnuto u vremenu od početka prvog do drugog promatranog razdoblja
2. izračunavanje matrice vjerojatnosti prijelaza P (reda $n \times n$) na temelju podataka pod 1

3. izračunavanje učešća proizvođača u prodaji artikala na početku drugog promatranog razdoblja (jednostupčana matrica A_0 , tj. reda $n \times 1$)

4. množenjem matrica P i A_0 dobiva se matrica A_1

$(P \times A_0 = A_1)$ reda $n \times 1$, koja pokazuje vjerojatno učešće proizvođača u prodaji odnosno artikla na tržištu u prvom slijedećem razdoblju

5. predviđanje vjerojatnog učešća proizvođača u prodaji odnosno artikla na tržištu u slijedećem drugom razdoblju ($A_2 = P \times A_1$)

6. predviđanje vjerojatnog učešća proizvođača u prodaji odnosno artikla na tržištu u trećem slijedećem razdoblju ($A_3 = P \times A_2$)

7. Općenito predviđanje vjerojatnog učešća proizvođača u prodaji odnosno artikla na tržištu u slijedećem razdoblju i ($A_i = P \times A_{i-1}$, gdje je $i = 1, 2, 3, \dots, m$)

Ako se duže vrijeme na tržište ne bi uvodio isti artikl nekog novog proizvođača ili novi konkurentski proizvod postojećih proizvođača te uz uvjet da ne ulaze novi niti ne izlaze postojeći kupci, tada bi razlike u uzastopnim procjenama učešća pojedinih proizvođača (u matricama učešća A_1, A_2, \dots, A_m) postojale sve manje te bi se postiglo stabilno stanje (ravnoteža ili ekvilibrij) učešća proizvođača na tržištu, odnosno (Dobrenić, 1978.: 490)

$$\square P \times A_{m+1} = A_{m+1}$$

MATRICA 490

Markovljev lanac je potpuno definiran podacima o stanju S_i ($i= 1,2,\dots,n$) sistema u početnom trenutku $t=1$ i podacima o vjerojatnosti prijelaza u bilo koje drugo moguće stanje u slijedećem trenutku $t=2$, tj matricom prijelaznih vrijednosti (Dobrenić, 1978.: 490).

Značenje elemenata matrice P je slijedeće: P_{ij} označava vrijednost da će sistem koji je u trenutku $t=1$ u stanju S_i , u trenutku $t=2$ biti u stanju S_j . (Dobrenić, 1978.: 490).

4.6. TEORIJA REDOVA ČEKANJA

Ime i tehničko ime	Primjer	Broj servera	Broj faza	Distribucija dolazaka	Distribucija vremena obrade	Veličina populacije	Disciplina reda
Jedan red-jedan server-jedna faza (M/M/1)	Informacijski šalter	Jedan	Jedna	Poissonova	Eksponencijalna	Neograničena	FIFO ¹
Jedan red, više servera (M/M/S)	Šalter u banci	S servera	Jedna	Poissonova	Eksponencijalna	Neograničena	FIFO
Konstantno vrijeme usluživanja (M/D/1)	Automatizirana autopraonica	Jedan	Jedna	Poissonova	konstantno	Neograničena	FIFO
Ograničena populacija	Ispravljanje testova	Jedan	Jedna	Poissonova	Eksponencijalna	Ograničena	FIFO

Red čekanja je problem koji se pojavljuje jer ljudi koji traže određenu uslugu ili stvari koje su predmet usluge dolaze na uslužno mjesto u većem broju nego je propusnost tog mjesta. U tom slučaju dolazi do čekanja što uzrokuje niz troškova. Ipak to ne znači da je premali broj uslužitelja ili se oni ne mogu nositi sa zahtjevima potrošača usluge.

„Teorija redova čekanja (masovnog opsluživanja) jedna je od metoda operacijskih istraživanja koja proučava procese opsluživanja slučajno pristiglih jedinica ili zahtjeva za nekom uslugom koristeći se pritom matematičkim modelima s pomoću kojih se ustanovljava međuzavisnost između dolazaka jedinica, njihovog čekanja na uslugu, opsluživanja te na kraju izlaska jedinica iz sustava, s ciljem da se postigne optimalno funkcioniranje promatranog sustava.“ (Zenzerović; 2005; 2)

Glavni razlog stvaranja redova, kako navode Russell i Taylor (2009; 194), je da potrošači na mjesto usluživanja ne dolaze istim tempom te vrijeme usluživanja potrošača nije konstantno. Ovaj problem je osobito izražen u modelu s jednim uslužnim kanalom (M/M/1). Osim takvog modela postoje i modeli s više kanala (M/M/S), modeli s konstantnim vremenom (M/D/1) i modeli s ograničenom populacijom.

¹ First In – First Out. Model prema kojem prednost usluživanja ima potrošač koji dođe prije drugog

Važno je znati pretpostavke modela kako bi se za rješavanje problema mogao koristiti pravi model. Zajedničke pretpostavke modela su (Prester.,2014; 212):

1. Svi imaju Poissonovu distribuciju dolazaka
2. vrijeme usluživanja, osim konstantnog vremena usluživanja, ponaša se po eksponencijalnoj razdiobi
3. disciplina reda je takva da tko je prvi dođe, prvi je i poslužen (FIFO)
4. svi klijenti imaju strpljenja čekati
5. svi modeli uključuju samo jednu fazu

Riješiti problem reda čekanja znači odrediti optimalan broj uslužnih mjesta za koji će vrijeme čekanja u redu ili troškovi prouzrokovani čekanjem biti minimalni. Prosječnim brojem dolazaka menadžer može uz spomenuto odrediti prosječan broj ljudi u redu i koliko prosječno traje čekanje.

4.6.1. Osnovni pojmovi u teoriji redova čekanja

Kao što se već dalo zaključiti, osnovni pojmovi u teoriji redova čekanja su ulazne jedinice, kanali ili uslužitelji i red čekanja od kojih svaki ima određene karakteristike koje je Radičev (2009; 3) opisao.

Ulazne jedinice opisuju karakteristike dolazaka potrošača. Promatra se način na koji potrošači dolaze (npr. pojedinačno ili grupno) te način njihove distribucije kroz vrijeme. Nepisano pravilo je da je najveća gužva u banci ili pošti na dan isplate mirovina ili poslijepodne kada ljudi uglavnom završavaju radni dan. Manji red čekanja je u slučaju ugovorenih sastanaka ili dolazaka. Stopa nasumičnih dolazaka može se opisati Poissonovom distribucijom. U teoriji redova čekanja prosječna stopa dolazaka tj. broj dolazaka u određenom vremenu se označava s λ . (Russell i Taylor; 2009; 195)

Uslužni mehanizam bavi se uslužnim centrom u lancu usluge. Tu spadaju jednokanalni i višekanalni modeli, promatra se vrijeme trajanja usluživanja jednog potrošača, koliki je broj dostupnog osoblja, prioritetni potrošači (trudnice, invalidi) te da li su uslužna mjesta postavljena paralelno što znači da se stvara jedan red za sva mjesta ili svako mjesto ima svoj red čekanja.

Zenzerović (2005; 5) piše kako svaki kanal ima svoj kapacitet usluživanja. Kapacitet usluživanja je ograničen brojem potrošača u redu u kojem više nema mjesta da se stane na kraj + potrošač koji se uslužuje. Sustavi koji podržavaju velike redove mogu se karakterizirati kao sustavi s beskonačnim kapacitetom. Odabir sljedećeg potrošača vrši se upotrebom određenog načina usluživanja što se u teoriji redova čekanja naziva disciplina reda.

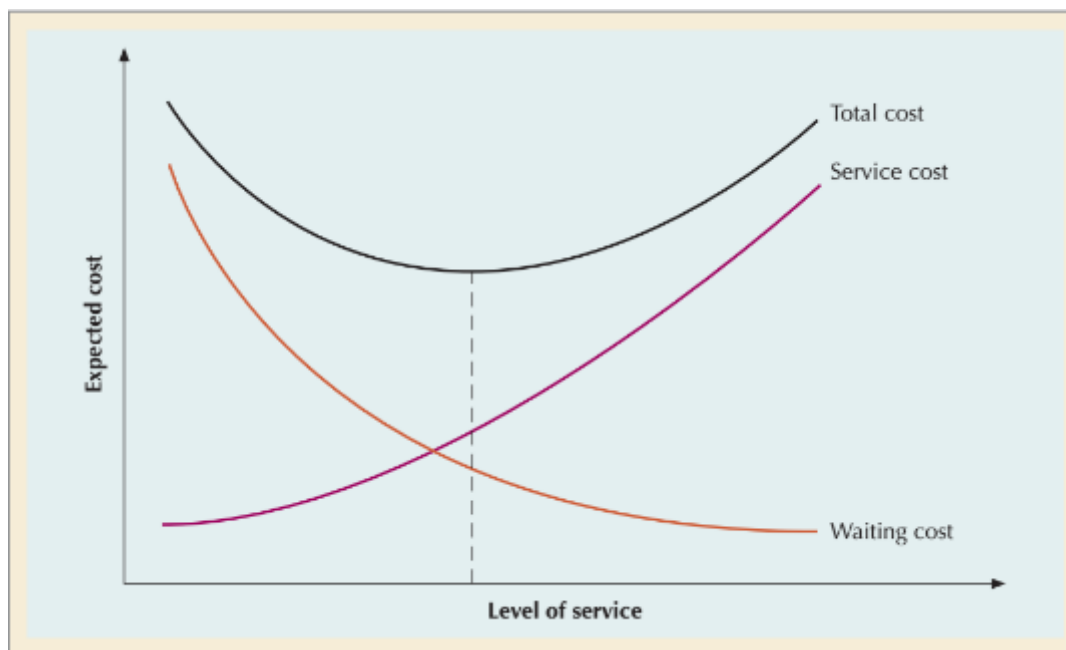
1. FIFO (first in – first out) – Najčešći način usluživanja gdje se u obzir uzima redoslijed dolaženja. Prednost ima potrošač koji ranije stigne na mjesto usluživanja.
2. LIFO (last in – first out) – Prednost dobije potrošač koji zadnji ulazi u red
3. PRIOR – oznaka prioriteta koja prednost daje određenim potrošačima npr. starije osobe, invalidi, trudnice, hitni slučajevi, ugovoreni dolasci itd.
4. SIRO – Odabir potrošača slučajnim odabirom gdje svatko u redu ima istu vjerojatnost da će biti uslužen bez obzira na vrijeme ulaska u red
5. GD – oznaka za bilo koju drugu disciplinu

4.6.2. Troškovi čekanja

Vrijeme je novac pa tako čekanje u redu uzrokuje određene troškove. Da bi se eliminiralo čekanje, koje se javlja u sustavu usluživanja, bilo bi potrebno ili postaviti vrlo velik broj kanala ili samo onoliki broj kanala koji će stalno biti zaposlen. Prema tome, optimalna varijanta bit će ona koja će gubitke koji nastaju zbog čekanja svesti na minimum. U tradicionalnoj teoriji analize redova čekanja, razina usluge mora biti na mjestu najnižih ukupnih troškova što vidimo na slici 3. Vidimo da rastom troškova usluga padaju troškovi čekanja. Ulaganjem u veći broj poslužitelja ili novi informacijski sustav omogućuje brže usluživanje potrošača.

Troškove čekanja nije lako izračunati, Russell i Taylor (2009; 198) ističu kako je najveća determinanta ovog troška gubitak poslovanja koji nastaje kada potrošaču dosadi čekati u redu pa napusti uslužno mjesto i/ili usluge traži na nekom drugom mjestu. Ovaj loš događaj može imati privremeni i stalni karakter tj. potrošač će se vratiti po uslugu neki drugi put ili se više nikada neće vratiti. Američka pošta tako ima za cilj uslužiti građane unutar pet minuta.

Trošak čekanja se teško kvantitativno izražava, ali ima utjecaj na dobit poduzeća uslijed smanjenja broja usluženih potrošača. Trošak se osjeti i na plaćama zaposlenika koje se smanjuju uslijed mjera menadžera za smanjenje troškova koji su kvantificirani.



Slika 5. Odnos troškova u analizi redova čekanja Izvor: Russell, Taylor; 2009

4.6.3. Psihologija čekanja

Vrijeme čekanja nije moguće smanjiti, kada je čekanje već nastupilo. Kako je već spomenuto ulaganjem u sustav posluživanja stvara troškove, a s druge strane ubrzava proces pružanja usluge. Čekanje u redu ima psihički manifest pa tako koliko god ono bilo kratko utječe na raspoloženje potrošača i razmišljanje o napuštanju mjesta pružanja usluga.

Kako bi se utjecalo na psihičku komponentu čekanja ulaže se u stvari koje odvlače pažnju potrošača. Tako u doktorskim čekaonicama ili kod frizera možemo pronaći razne časopise koji su na raspolaganju ljudima koji čekaju. Osim časopisa često se u čekaonici može pronaći TV. Iza utjecaja na razmišljanje potrošača u trenutku dugotrajnog čekanja stoji mala znanost. Russell i Taylor (2009; 200) navode kako se ispred dizala postavljaju zrcala, a u supermarketima su časopisi i novine locirani kod blagajni. Čekanju na blagajni pomažu i ostale male stvari poput slatkiša koji se kupuju impulzivno ili ako su u redu čekanja roditelji s djecom bore se da ne utrpaju u košaricu sve što vide. Svi navedeni oblici ne iziskuju velike troškove a mogu smanjiti trošak čekanja.

Razvojem tehnologije pojavili su se i prvi samoposlužni uređaji nadomak šaltera s živim zaposlenikom. Na takvim mjestima potrošač sam odabire uslugu koju želi i ako je riječ o materijalnom u nekoliko trenutaka traženo je isporučeno na izlazu. Kako bi se ubrzao protok vozila na autocestama uvedeni su ENC uređaji kojima se prolazi naplatnim kućicama praktički bez zaustavljanja

4. ZAKLJUČAK

Danas je jako bitno posvetiti puno vremena i pažnje u stvari koje dodaju vrijednost jednoj organizaciji. Proizvodnja, transport, zalihe, sve su to stvari koje dodaju vrijednost i pokreću gospodarstvo. I sve to radimo s ciljem da bi zadovoljili krajnjeg potrošača odnosno kupca. Potrebno je pratiti ljudske potrebe te prema njima prilagođavati vlastiti opskrbeni lanac. Danas su puno dostupniji podaci za izračun raznih kalkulacija, promijenila se brzina opskrbnog lanca, alati koji nam se pružaju su postali puno složeniji ali nam pružaju puno više informacija i pomoći. Ove i druge metode za rješavanje problema zaliha mogu racionalizirati poslovanje poduzeća i donijeti velike uštede u vidu optimalnog rasporeda nabave, transporta i držanja zaliha. U radu je obrađeno samo nekoliko matematičko-statističkih metoda koje se koriste u strategijama upravljanja lancem opskrbe, no u praksi se koriste i mnoge druge.

Iz ovog rada možemo zaključiti kako je potrebno posvetiti dosta vremena u proces upravljanja lancem jer time uvelike doprinosimo kvaliteti jedne organizacije. Potrebno je stvoriti kvalitetan tim ljudi koji će o tome brinuti jer je bez kvalitetnog upravljanja lancem opskrbe danas teško opstati na tržištu.

7. LITERATURA

1. Segetlija, Z. (2008) Uvod u poslovnu logistiku, Osijek, Ekonomski fakultet
2. Žager, K., Vašiček, V., Žager, L. (2003) Računovodstvo za neračunovođe, Zagreb, HZRIF
3. Čerić, V., Varga, M. (1994) *Informacijska tehnologija u poslovanju*. Element, Zagreb.
4. Barković, D.: „ Operacijska istraživanja“, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Usijeku, Ekonomski fakultet Osijek, Osijek, 2002.
5. Dušak, Vesna (1979): *Rješavanje transportnog problema linearnog programiranja uz pomoć elektroničkog računala*“*Journal of Information and Organizational Sciences*2-3. Dostupno:<http://hrcak.srce.hr/file/120924> [25.05.2018.]
6. Russel, R. Taylor, B. (2009) *Operations management along the supply chain*; Azija; John Wiley & Sons
7. Zenzerović, Z. (2005) *Teorija redova čekanja*; Rijeka; Pomorski fakultet u Rijeci
8. Prester, J. (2014) *Operacijski menadžment u uslugama*; Zagreb; Sinergija