

Planiranje bazičnih zaliha

Rogić, Frane

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:636404>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-03**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PLANIRANJE BAZNIH ZALIHA

BASE STOCK MODEL

Mentor: doc. dr. sc. Diana Božić

Student: Frane Rogić

JMBAG: 0135262032

Zagreb, rujan 2024

Sadržaj

1. Uvod	4
2. Općenito o zalihama i vrste zaliha	5
3. Osnovne ili bazne zalihe	8
4. Matematički model u planiranju baznih zaliha	11
4.1 Model naručivanja do određene razine	11
4.2 Određivanje ciljane razine usluge	14
4.3 Izračun količine zaliha potrebne za postizanje ciljane razine usluge	17
4.4 Kontinuirano održavanje ciljane razine zaliha	18
5. Primjer proračuna bazne zalihe-studija slučaja	22
5.1 Opis osnovnih podataka u primjeru	22
5.2 Izračun optimalne razine usluge	25
5.3 Odabir distribucije potražnje	26
5.4 Primjer procjene naručivanja u modelu naručivanja do ciljane razine	29
5.5 Procjena optimalne količine zaliha	32
6. Zaključak	34
Popis literature	35
Popis slika	37
Popis grafikona	38
Popis tablica	38

SAŽETAK

Ovaj završni rad bavi se temom planiranja baznih zaliha i upravljanja zalihama s ciljem minimiziranja troškova i osiguravanja zadovoljenja potražnje. Kroz šest poglavlja, rad pruža pregled osnovnih pojmova o zalihama, vrstama zaliha, matematičkom modelu za upravljanje baznim zalihama, te daje primjer praktičnog izračuna baznih zaliha korištenjem modela narudžbe do određene razine. Praktična primjena modela prikazana je kroz konkretan primjer farmaceutske tvrtke koja prodaje medicinske uređaje, te zbog različitih vremena isporuka mora različito planirati zalihe na razini prodajnog predstavnika i distribucijskog centra. Ovaj primjer ilustrira kako se model može primijeniti na stvarni opskrbeni lanac gdje se zalihe moraju planirati na više razina i za različita vremenska razdoblja. Zaključak rada naglašava važnost preciznog planiranja i modeliranja zaliha kako bi se tvrtke mogle prilagoditi neizvjesnostima u potražnji i opskrbi, uz održavanje visokog stupnja usluge i minimiziranje troškova.

KLJUČNE RIJEČI: zalihe, upravljanje zalihama, model narudžbe do zadane razine, razina usluge

SUMMARY

This final paper addresses the topic of base stock planning and inventory management to minimize costs and ensure demand fulfilment. Through six chapters, the paper provides an overview of the basic concepts of inventory, types of inventories, a mathematical model for managing base stocks, and presents a practical example of calculating base stocks using the reorder point model. The practical application of the model is demonstrated through the example of a pharmaceutical company that sells medical devices and must plan its inventory differently at the sales representative and distribution centre levels due to varying delivery times. This example illustrates how the model can be applied to a real supply chain where inventory must be planned at multiple levels and for different periods. The conclusion emphasizes the importance of precise inventory planning and modelling so that companies can adapt to uncertainties in demand and supply while maintaining a high level of service and minimizing costs.

KEY WORDS: supplies, inventory management, order-up-to model, service level.

1. Uvod

Upravljanje zalihama je složen proces koji svakodnevno postaje sve veći izazov. Kako bi upravljanje zalihama bilo lakše osmišljeni su razni modeli kako njima upravljati. Cilj im je naći što bolje rješenje kako bi troškovi držanja zaliha bili što manji.

Sukladno tome prikaz jednog od modela u primjeni je i tema ovog završnog rada i to model za planiranje baznih ili bazičnih zaliha.

Sadržaj rada se sastoji od 6 međusobno povezanih dijelova:

1. Uvod
2. Općenito o zalihama
3. Osnovne ili bazne zalihe
4. Matematički model u planiranju baznih zaliha
5. Primjer proračuna baznih zaliha
6. Zaključak

Cilj prvog poglavlja je ukratko opisati rad, navesti osnovne ciljeve rada, strukturu te svrhu. U drugom poglavlju govori se o zalihama, definira se pojam zaliha, cilj te se opisuje podjela zaliha. U trećem poglavlju opisuju se osnove baznih zaliha i njihova definicija. U četvrtom poglavlju se spominju najvažniji matematički modeli koji su zastupljeni u računaju baznih zaliha. U petom poglavlju se prikazuje primjer izračuna baznih zaliha temeljeno na modelu narudžbe do unaprijed postavljene razine zaliha (eng. *order-up-to model*). U šestom poglavlju je zaključak rada.

2. Općenito o zalihama i vrste zaliha

U ovom poglavlju opisano je što su zapravo zalihe i zašto su bitne, koji je njihov cilj te je opisana podjela zaliha.

Zalihe su vlastiti materijal koji se upotrebljava u poslovanju, odnosno koji je namijenjen unutarnjoj potrošnji ili prodaji, a uključuju sirovine, poluproizvode, materijal u radu i gotove proizvode.[1] Zalihe kao pojam predstavljaju količinu robe koja je potrebna poduzećima da bi se nesmetano mogli odvijati procesi proizvodnje i prodaje.

Osnovni razlog držanja zaliha je osiguranje poduzeća od mogućeg rizika nestašice. Uzroci nestašice robe mogu biti razni. Najčešći razlozi su povećanje potražnje za robom pa poduzeće nema dovoljno robe da zadovolji potražnju odjednom ili problem u nekom dijelu opskrbnog lanca (problemi sa dobavljačem, problemi sa transportom ili skladištenjem itd.) Upravo zalihe povezuju različite sudionike opskrbnog lanca (dobavljači, proizvođači, distributeri, kupci) i nalaze se u svim fazama opskrbnog lanca. Zalihe se mogu držati i za razne druge svrhe kao radni predmeti i sitna oprema poduzeća ili kao gotovi proizvodi poduzeća namijenjeni prodaji.[2]

Cilj držanja zaliha je zaštititi poslovanje i proizvodnju u uvjetima neizvjesnosti, omogućiti ekonomičnu nabavu i proizvodnju te pokriti prisutne promjene u ponudi i potražnji. Kako zalihe imaju i svoju novčanu vrijednost vrlo je bitno znati kako njima kvalitetno upravljati. Upravljanje zalihama je složen proces i jedan od najbitnijih dijelova opskrbnog lanca. Glavna svrha upravljanja zalihama je pronaći optimalnu razinu zaliha za potrebe kupaca uz istovremeno racionalno upravljanje imovinom poduzeća.[2]

Upravljanje zalihama važno je za menadžment svake organizacije, a ogleda se u donošenju odluka kada se, koliko i što nabavlja, uz tendenciju minimalizacije troškova i financiranja zaliha istovremene maksimalizacije pružene kvalitete usluge korisniku i ostvarene dobiti poduzeća[2]. Svako poduzeće koje u svojim aktivnostima sadrži upravljanje zalihama odabire svoju strategiju upravljanja istim. Razvojem tehnologije upravljanje zalihama odvija se sve više pomoću raznih softvera koji automatiziraju i ubrzavaju procese vezane za upravljanje zalihama.

Uobičajeno vrste zaliha dijele se prema vrsti robe i prema stvarnoj i planiranoj količini. Prema vrsti robe dijele se na zalihe repromaterijala, polugotove proizvode i zalihe gotovih

proizvoda[2]. Prema stvarnoj i planiranoj količini dijele se na: [2]

- Minimalne zalihe- Minimalnu zalihu predstavlja najmanja količina robe koja je potrebna da se pravovremeno zadovolje obveze poduzeća po količini i asortimanu. Manjak robe u skladištu može ugroziti proces proizvodnje, odnosno cjelovitu opskrbu kupaca. Za utvrđivanje minimalne količine zaliha potrebno je utvrditi dnevnu potrošnju ili prodaju robe (ovisno o tome radi li se o proizvodnji ili distribuciji) i rokove nabave. S obzirom da se izračunavanje minimalnih zaliha temelji na prosječnoj dnevnoj potrošnji ili prodaji robe, držanje minimalnih zaliha ima smisla, samo, ukoliko je riječ o proizvodnom ili trgovačkom poduzeću, koje u poslovanju nema sezonskih oscilacija i ima pouzdane dobavljače, da na njih bez straha, može uvijek računati po pitanju sigurnosti i isporuke naručene robe.
- Maksimalne - Maksimalna zaliha predstavlja gornju granicu količine robe u skladištu iznad koje se ne smije u određenom razdoblju nabavljati roba. Držanje maksimalnih zaliha ima smisla kada proizvodnja ili narudžbe kupaca, manje ili više osciliraju tijekom godine, pa se poduzeće politikom držanja maksimalnih zaliha osigurava od nestašice robe. Ima više mogućnosti izračunavanja količine robe koja predstavlja normativ za maksimalnu zalihu; najčešće se koristi način po kojem se vrijednost najveće planirane prodaje podjeli s danima odabranog ili planiranog razdoblja i rezultat pomnoži s norma danima.
- Optimalne - Optimalne zalihe se nalaze između minimalnih i maksimalnih zaliha. Predstavljaju količinu robe koja osigurava redovnu i potpunu opskrbu proizvodnje ili kupaca uz minimalne troškove skladištenja i naručivanja robe. Pri računanju optimalnih zaliha u obzir se uzimaju troškovi nabave, troškovi dopreme, troškovi skladištenja te troškovi zaliha. Troškovi nabave uključuju troškove kupnje, troškove konverzije i druge troškove nastale u procesu dovođenja zaliha u prezentirano stanje i na trenutnu lokaciju. Troškovi kupnje obuhvaćaju kupovnu cijenu, carinu, porez, troškove prijevoza, troškove čuvanja i rukovanja i sve druge troškove koji se mogu dodati troškovima nabave umanjene za diskonte, rabate i subvencije. Troškovi konverzije obuhvaćaju troškove kupnje i troškove koji nastaju zbog dovođenja zaliha na sadašnju lokaciju i u sadašnje stanje.

- Prosječne - čine prosjek stanja zaliha robe tijekom određenog vremenskog razdoblja, najčešće godine. Izračunavaju se putem aritmetičke sredine određenog broja stanja zaliha na skladištu.
- Sigurnosne- ili mrtve zalihe uvjetuju sigurniju opskrbu proizvodnje i kupaca, ali i određene troškove, u vidu izdataka za kamate na angažirana financijska sredstva i troškove skladištenja. Uobičajena količina zaliha određuje se statističkim podacima kako bi predvidjeli budućnost te pretpostavljaju kako neće biti promjena okolnosti tijekom nadolazećeg perioda. Sigurnosne zalihe se prvenstveno definiraju kako bi se pokrile nasumične promjene u potražnji te također da se pokriju ostale situacije poput: prekida opskrbe, manjka proizvodnje, prekida transporta, spore, nepouzdana ili netočne informacije te ostali razlozi prekida određenih usluga.
- Špekulativne- zalihe koje se ne drže zbog zadovoljavanja trenutne potražnje. Naprimjer, sirovine se mogu kupiti u količini većoj od potrebne zbog dobivanja količinskog popusta ili zbog predviđene nestašice te sirovine. Također, razlog može biti i kupovina po nižoj cijeni, dok se očekuje rast cijene u budućnosti. Troškovi koji nastaju kupnjom špekulativnih zaliha, „vraćaju“ se tijekom određenog razdoblja kada se događaji promjene na tržištu, odnosno rast cijena proizvoda. Pri ovome se očekuje da će taj profit biti veći od povećanih troškova čuvanja prekomjernih zaliha. Primjer za ovakve situacije je nafta tijekom kriznih događanja u nekoj zemlji koja je veliki proizvođača nafte.
- Sezonske- količina robe koja se naručuje u povećanim količinama jednokratno u cilju zadovoljenja procjene potražnje za određenu sezonu. Sezonske zalihe su oblik špekulativnih zaliha jer točnost predviđanja potražnje mora biti vrlo visoka kako poduzeće ne bi ostvarilo gubitke zbog visokih troškova držanja velikih količina zaliha. Primjer sezonski zaliha su božićni ukrasi.
- Nekurentne - predstavljaju robu u skladištu koja u planiranom vremenu iz određenih razloga nije prodana. Ti razlozi mogu biti oštećenja, zastarjelost, prevelika količina narudžbi zbog jeftinijih cijena, loša procjena tržišta itd. Roba samim stajanjem gubi na vrijednosti.

3.Osnovne ili bazne zalihe

Osnovna zaliha odnosi se na količinu artikala koja se drži na skladištu kako bi se smanjio rizik od nestašice zaliha uzrokovane neizvjesnostima u opskrbi i potražnji. Terminološki se može poistovjetiti sa ranije opisanom u poglavlju 2. optimalnom, sigurnosnom ili minimalnom zalihom.

U određivanju koliko je zaliha pojedinog proizvoda potrebno držati na zalihama primjenjuju se različite menadžerske politike i metode proračuna. Politika baznih ili osnovnih zaliha (engl. *Base stock policy*) je često korištena politika upravljanja zalihama koja određuje optimalne razine zaliha u sustavu.[3] Cilj je uspostaviti ravnotežu između troškova držanja zaliha i troškova manjka zaliha.

Osnovna logika kod ovakvog upravljanja zalihama je unaprijed postavljanje razine osnovne (bazne) zalihe, koja onda predstavlja minimalnu količinu zaliha koja pokreće narudžbu za obnovu. Tijekom poslovanja kada razina zalihe padne ispod postavljene osnovne zalihe, kreira se narudžba za nadopunu kako bi se zalihe vratile na postavljenu razinu. Na ovaj način osigurava se da uvijek ima dovoljno zaliha kako bi se zadovoljila potražnja dok se istovremeno minimiziraju troškovi skladištenja.[3] Glavni čimbenici koji utječu na količine zaliha i element su svih politika upravljanja zalihama jesu:

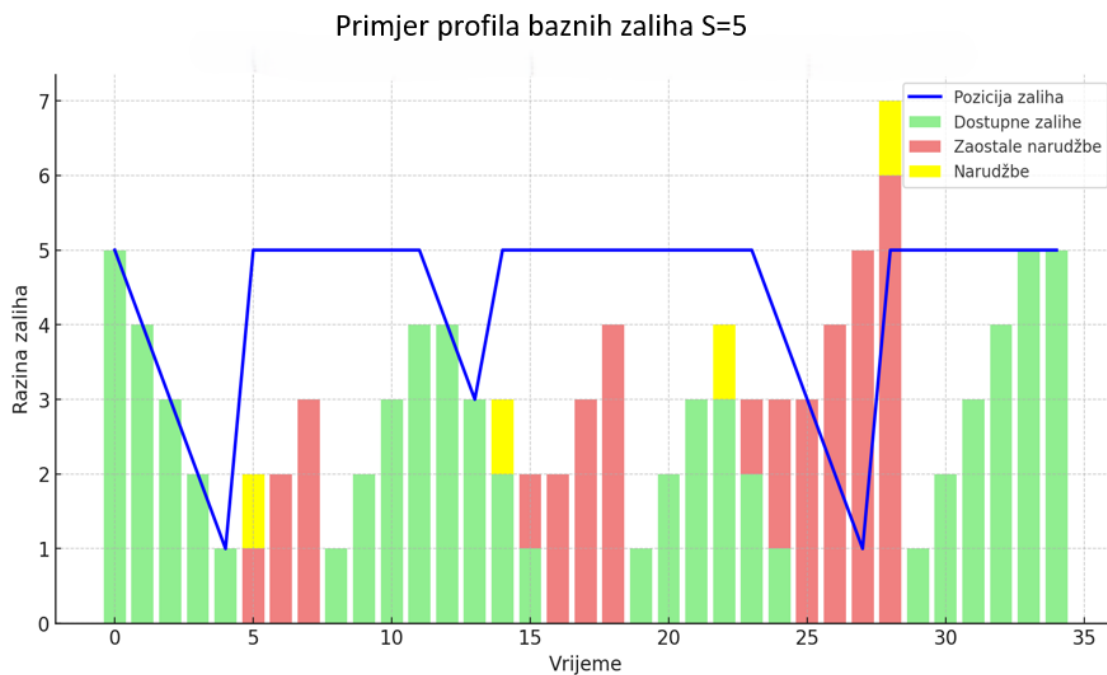
- Vrijeme isporuke
- Točnost prognoze potražnje za proizvodom
- Ciljana razina usluge

Dulje vrijeme isporuke obično zahtjeva veću sigurnosnu zalihu koja je usko povezana sa baznim zalihama. Također ako su predviđanja potražnje manje precizna zahtijevaju više sigurnosne zalihe što znači i da distributivni centar mora naručiti veću količinu robe. Isto tako što je postavljena viša razina usluge (dostupnost proizvoda) to znači i veću količinu zalihe kako bi se ta razina usluge i održala.[3] Uz ove čimbenike može se dodati i čimbenik varijabilnosti potražnje. Ako potražnja značajno varira, bit će potrebna veća zaliha kako bi se izbjegle nestašice artikala.

Pravilno određena količina baznih zaliha tako predstavlja oblik osiguranja protiv rizika povezanih s neizvjesnostima u opskrbi i potražnji, smanjujući vjerojatnost da tvrtka neće moći

ispuniti narudžbe zbog nedostatka zaliha.[4] Međutim držanje prevelike bazne zalihe može povećati troškova skladištenja i smanjiti profitabilnost. Stoga je važno pažljivo izračunati optimalnu količinu zalihe koja uravnotežuje troškove skladištenja i rizik od nestašica. Osim ovih čimbenika kod definiranja modela izračuna koliko je potrebno zaliha, važan element je i sustav nadzora zaliha u primjeni (kontinuirani ili periodični) kao i period za koji se naručuje (jednokratno, za više poznatih perioda, neograničenih perioda itd.)

U teoriji zaliha model izračuna bazičnih ili osnovnih zaliha je statistički model koji pretpostavlja obnovu zaliha jedna jedinica po jednu, dok je potražnja slučajna. [4] Primjer profila zaliha kod ovog modela prikazan je slikom 1.[5]



Slika 1 Primjer profila baznih zaliha za ciljanu razinu 5

U stručnoj literaturi model za izračun baznih zaliha često se naziva i model narudžbe do zadane razine (engl. *Order-up-to model*). Važno je navesti da se kod izračuna baznih zaliha često primjenjuje i model prodavača novina (eng. *Newsvendor model*). Ključne razlike između ta dva modela ogledaju se u frekvenciji narudžbi (kontinuirane narudžbe ili jednokratne narudžbe); prirodi potražnje (stalna potražnja, nepredvidiva ili sezonska potražnja) i preuzetim rizikom (balansiranje između manjka i viška zaliha zbog jedne prilike ili kontinuiranih prilika)[6].

Budući da zalihe nisu besplatne, cilj modela naručivanja do zadane razine je pronaći ravnotežu između previše skromnog vođenja zaliha (što dovodi do nepoželjnih nestašica tj. loše usluge) i previše obilnog vođenja zaliha (što dovodi do troškova skladištenja). Mnogi proizvodi imaju dug vijek trajanja, kontinuiranu buduću potražnju i prodaju se tijekom dugog vremenskog razdoblja s brojnim prilikama za nadopunjavanje zaliha. Iako su višestruka nadopunjavanja zaliha moguća, model naručivanja do zadane razine i dalje se suočava s izazovom „premalo–previše“ koji je povezan s usklađivanjem ponude i potražnje.

Svrha modela baznih zaliha je pokriti potražnju tijekom vremena isporuke, uz održavanje bazne razine zalihe. Zbog toga, model ima točku ponovnog naručivanja koja je kombinacija razine bazne zalihe i predviđene potražnje tijekom vremena isporuke. Ovaj model funkcionira u industrijama koje imaju predvidljivu potražnju, pouzdani lanac opskrbe i stabilna vremena isporuke.[4] Pomaže u smanjenju nedostatka zaliha (engl.*stockout*) i viškova zaliha (eng. *overstock*), a pojašnjen je u slijedećim poglavljima.

4. Matematički model u planiranju baznih zaliha

Baznim zalihamama se može upravljati s jednim ili više matematičkih modela. Odabir modela ovisi o više faktora kao što je vrsta proizvoda, razmjera potražnje, veličina asortimana tvrtke, pouzdanost dobavljača itd. Matematički modeli za planiranje baznih zaliha ključni su za optimizaciju upravljanja zalihamama, minimiziranje troškova i osiguravanje dostupnosti proizvoda. Većina poduzeća koristi nekoliko matematičkih modela kombinirano kao bi imala što preciznije izračune u planiranju zaliha. U ovom poglavlju obrađuje se model naručivanja do zadane razine (eng. *Order-up-to model*).

4.1 Model naručivanja do zadane razine

Model naručivanja do zadane razine zaliha osmišljen je za upravljanje zalihamama proizvoda koji imaju mogućnost višestrukog obnavljanja zaliha kroz dugi vremenski period. Ovaj model se u literaturi navodi i kao (S,s) ili (Q,r) politika u upravljanju zalihamama, a predstavlja vrstu sustava kontrole zaliha u kojem se zalihe naručuju i obnavljaju do unaprijed određene razine (S) ili (Q) kada god trenutna razina zaliha padne ispod određene točke ponovne narudžbe (s) ili (r).[8]

Model naručivanja do zadane razine primjer je sustava koji ima elemente „pull“ sustava upravljanja zalihamama jer su narudžbe za nadopunu zaliha inicirane stvarnom potražnjom i „push“ sustava jer se neprodane zalihe drže na stanju do buduće potražnje. S obzirom da „push“ i „pull“ modeli imaju svoje prednosti i mane kombinacija tih pristupa omogućava optimizaciju upravljanja zalihamama.

Pretpostavke za primjene modela su [8]:

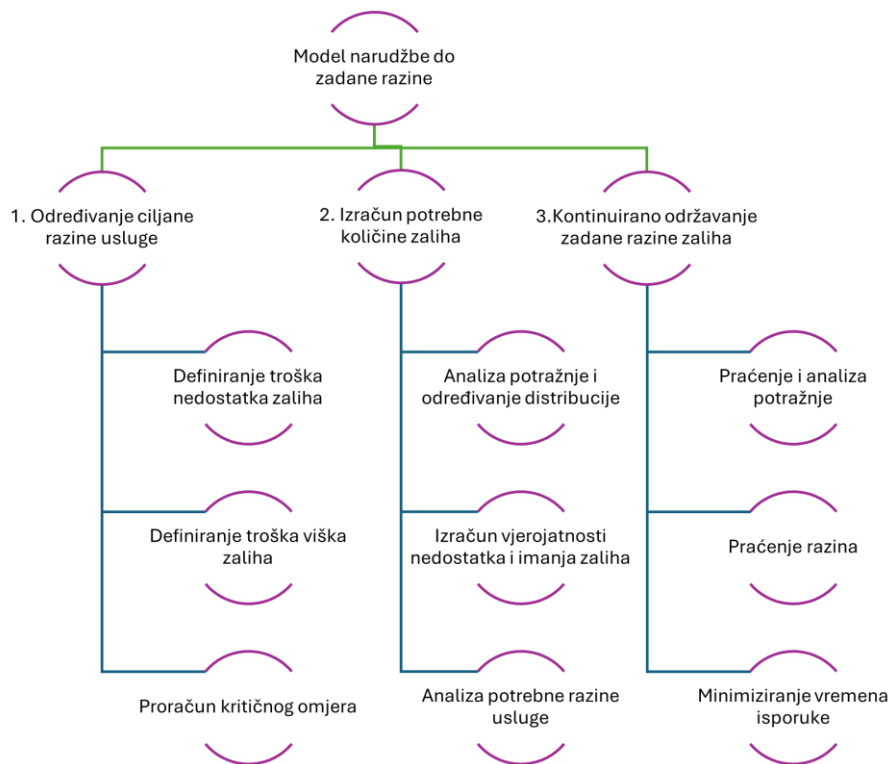
- Potražnja se događa za jedan proizvod odnosno nema skupnih narudžbi (više različitih proizvoda)
- Mogućnost naručivanja javlja se u pravilnim i redovitim intervalima
- Distribucija potražnje ista je u svakom razdoblju
- Obnavljanje zaliha događa se na početku razdoblja
- Vremenski rokovi za nadopunu zaliha su fiksni i poznati
- U modelu ne postoji ograničenje koliko se može naručiti u bilo

kojem razdoblju

- Nepopunjena potražnja se bilježi kao narudžba za kasniju isporuku (nema izgubljene prodaje)
- Zalihe koje ostanu na kraju razdoblja prenose se u sljedeće razdoblje

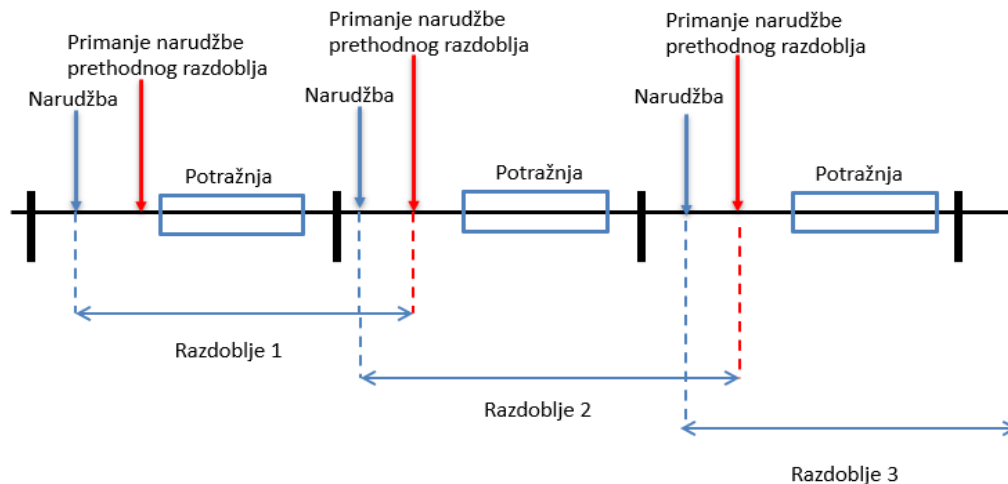
Slikom 2 prikazani su detaljni koraci za primjenu modela, koji se mogu sažeti kao [8]:

1. Određivanje ciljane razine usluge za promatrani proizvod koja predstavlja vjerojatnost da se proizvod može isporučiti kupcu u trenutku kad ga on traži.
2. Izračun količine zaliha potrebne za postizanje ciljane razine usluge koristeći se formulama koje uključuju očekivanu potražnju i sigurnosne zalihe.
3. Kontinuirano održavanje ciljane količine zaliha.



Slika 2 Prikaz koraka modela naručivanja do zadane razine

Kontinuirano održavanje zaliha na postavljenoj razini ostvaruje se mogućnošću nabavke novih količina zaliha kroz jednake intervale (periode ili razdoblja), što je prikazano slikom 3.



Slika 3 Prikaz redoslijeda događaja tijekom razdoblja $L=1$ dan

Vrijeme između narudžbi naziva se razdoblje i uobičajeno se označava se slovom L (eng. *Lead time*). [9] Razdoblje je izraženo u nekoj od mjernih jedinica vremena kao što su sat, mjesec, tjedan ili godina. Na različitoj razini opskrbnog lanca mjerne jedinice razdoblja ne moraju biti jednake pa tako na primjer na razini prodajnog mjesta razdoblje će biti izraženo u danima, dok će na razini distributivnog centra prema proizvodnom pogonu razdoblje biti izraženo u tjednima ili mjesecima.

Tijekom razdoblja događaju se sljedeće aktivnosti:

- Šalje se narudžba za obnavljanja zaliha za sljedeći period
- Prima se narudžba koja je naručena prethodni period
- Dolazi do potražnje i prodaje postojećih zaliha

Svako razdoblje počinje sa narudžbom za sljedeće razdoblje i završava sa

primanjem narudžbe prethodnog razdoblja. Ovaj redoslijed događaja omogućuje pravilno upravljanje zalihama i narudžbama unutar svakog razdoblja.

Varijable koje se koriste u modelu su:[9]

- S-ciljana razina zaliha do koje se naručuje
- L-vrijeme isporuke
- μ -srednja vrijednost potražnje tijekom razdoblja L
- σ -standardna devijacija potražnje tijekom razdoblja L
- CR- kritični omjer

4.2 Određivanje ciljane razine usluge

U određivanju odgovarajuće razine usluge potrebno je balansirati između troškova nedostataka zaliha (eng. *backorder cost*) i troškova držanja zaliha (eng. *holding cost*). Za to su potrebni sljedeći koraci [9]:

1. Definiranje troška nedostatka zaliha (eng. *Underage cost* C_u)

Ovaj trošak nastaje kada nema dovoljno zaliha za ispunjenje potražnje (npr. izgubljena prodaja ili gubitak povjerenja kupaca). Npr. ako je trošak izgubljene prodaje 10 eura po jedinici tada je $C_u=10$. Ovaj trošak je i glavni uzrok zaostale narudžbe (eng. *Back order*) koji je objašnjen u potpoglavlju niže.

2. Definiranje troška viška zaliha (eng. *Overage cost* C_o)

Ovaj trošak nastaje kada ima previše zaliha, a one ostaju neprodane ili neiskorištene. To uključuje troškove skladištenja, sniženja cijene i slično.

3. Kritični omjer ili koeficijent kritičnosti (eng. *Critical Ratio* CR)

Kritični omjer predstavlja omjer između troškova nedostataka i viška zaliha i pomaže u određivanju optimalne količine narudžbe. Ako je na primjer $CR=0.833$ to znači da će 83.3% narudžbi biti ispunjeno iz zaliha bez potrebe za zaostacima. Drugim riječima on predstavlja vjerojatnost da će potražnja biti manja ili jednaka naručenim količinama, a računa se prema jednadžbi (1).[9]

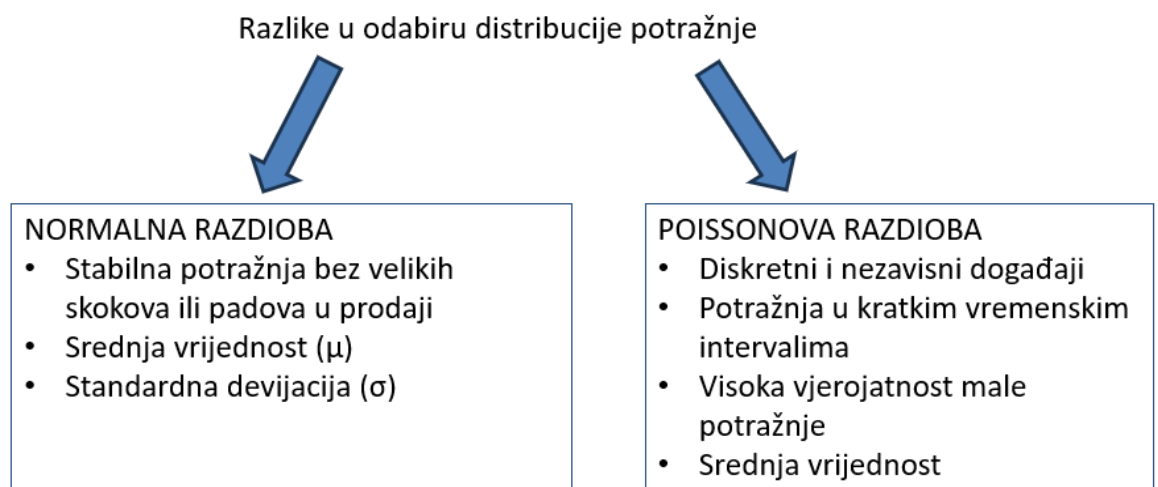
$$CR = \frac{C_u}{C_u + C_o} \quad (1)$$

4. Određivanje distribucije potražnje

Distribucija potražnje omogućuje procijeniti vjerojatnost da će potražnja biti unutar određenih granica. Na taj se način može procijeniti rizik od nestašica ili viška zaliha. Također korištenje odgovarajuće distribucije potražnje omogućuje precizan izračun sigurnosne zalihe i količinu zaliha na stanju pri kojoj se mora naručiti nova količina (točka ponovne nabave), te minimizira troškove skladištenja. U teoriji upravljanja zalihama najčešće se koriste Normalna razdioba i Poissonova razdioba, a osnovni kriteriji odabira prikazani su slikom 4.

Normalna razdioba se koristi kada je potražnja stabilna i simetrično raspoređena oko srednje vrijednosti potražnje.[10] Potražnja varira oko prosječne vrijednosti (μ) i ima standardnu devijaciju (σ). Koristi se kada ne postoje veliki skokovi ili padovi u prodaji.

Poissonova razdioba se koristi kada je potražnja diskretna i kada su događaji nezavisni. Koristi se za modeliranje potražnje koja se događa u kratkim vremenskim intervalima posebno kada je vjerojatnost male potražnje visoka.[10] Za razliku od Normalne razdiobe, Poissonova razdioba je određena samo jednom varijablom i to je srednjom vrijednosti potražnje (λ).



Slika 4 Prikaz razlika u odabiru distribucije potražnje

Distribucija potražnje se može koristiti i za određivanje potrebne razine zaliha odnosno S . Na primjer ako je potražnja normalno distribuirana, z -vrijednost koja odgovara $CR=0.833$ (kritični omjer iz prethodnog primjera) je 0.97 standardnih devijacija od srednje vrijednosti.[8] Vrijednost parametra z moguće je pronaći u tablici normalne razdiobe.[11] S tim podacima pomoću sljedeće jednadžbe može se izračunati optimalna ciljana razina zaliha (S) prema formuli 2.[9]

$$S = \mu + z \cdot \sigma \quad (2)$$

Gdje je:

S -ciljana razina zaliha

z - je z -vrijednost normalne distribucije koja odgovara kritičnom omjeru

μ -srednja vrijednost potražnje za proizvodom

σ -standardna devijacija potražnje za proizvodom

Za razdoblje potražnje u modelu naručivanja do zadane razine uvijek se uzima $L+1$ razdoblje jer model podrazumijeva da od trenutka kada je narudžba izvršena na početku razdoblja, do kraja razdoblja u kojem narudžba stiže će proći $L+1$ razdoblje.[9] Kada se računa distribucija potražnje za razdoblje, razdoblja moraju biti izražena u istoj mjernoj jedinici (dan, tjedan, mjesec itd.). S obzirom da ovisno o lokaciji u distributivnom lancu vremenske jedinice razdoblja mogu biti različite, potrebno je napraviti konverziju vrijednosti distribucija potražnje. Za to se primjenjuju sljedeće jednadžbe [9]:

$$\mu_e = \frac{\text{Očekivana potražnja u dužem periodu}}{n} \quad (3)$$

Gdje je:

μ_e -očekivana srednja potražnja u kraćem periodu

n -Broj kraćih razdoblja u dužem razdoblju (npr. 4 tjedna u mjesecu)

$$\sigma_e = \frac{\text{Standardna devijacija dužeg perioda}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Gdje je:

σ_e -standardna devijacija u kraćem periodu

4.3 Izračun količine zaliha potrebne za postizanje ciljane razine usluge

Razina usluge je vjerojatnost da će poduzeće imati dovoljno zaliha kako bi zadovoljila potražnju kupaca. Npr. ako je razina usluge 95% to znači da je cilj da 95% potražnje bude zadovoljeno iz trenutnih zaliha. Koraci za određivanje potrebne količine zaliha su sljedeći:[9]

1. Potrebno je prikupiti podatke o potražnji.

Podaci o potražnji prikupljaju se na temelju podataka o prodajama proizvoda na terenu. Podaci se prikupljaju tijekom L+1 razdoblja. Nakon toga se temeljem tih podataka odabire distribucija potražnje.

2. Izračunati vjerojatnost nedostatka zaliha (eng. *stockout*).

Prema definiciji, za nedostatak zaliha potrebno je biti bez zaliha, a mora se pojaviti i potražnja. Dakle, ako nema zaliha, a potražnja se ne pojavi, tada nije došlo do nedostatka zaliha. Jednadžba za izračun je sljedeća [9]:

$$\text{Vjerojatnost nedostatka zaliha} = Pr\{\text{Potražnja tijekom } L+1 \text{ razdoblja}\} > S \quad (5)$$

3. Izračunati vjerojatnost imanja zaliha (eng. *stock-in*).

To je vjerojatnost da imamo zalihe spremne za zadovoljiti potražnju tijekom nekog razdoblja. Jednadžba je sljedeća [9]:

$$\text{Vjerojatnost imanja zaliha} = 1 - \text{vjerojatnost nedostatka zaliha} \quad (6)$$

4. Na temelju ciljane razine usluge potrebno je iz z-tablice izvući z-vrijednost koja

odgovara toj razini usluge.

Ako potražnja slijedi Poissonovu razdiobu potrebno je pronaći S u tablici tako da kumulativna funkcija raspodijele $F(S)$ bude jednaka ciljanoj vjerojatnosti dostupnosti zaliha, gdje je $F(S)$ vjerojatnost da je potražnja manja ili jednaka S tijekom $L+1$ razdoblja. Ako ciljana vjerojatnost dostupnosti zaliha pada između dva unosa u tablici, odabere se veći S . [11]

Kod normalne razdiobe z se mora prvo izračunati prema jednadžbi:

$$z = \frac{S - \mu}{\sigma} \quad (7)$$

5. Izračun potrebne razine zaliha.

Pomoću podataka iz prethodnih koraka potrebno je izračunati optimalnu razinu zaliha. Pritom cilj je minimizirati količinu zaliha i osigurati da vjerojatnost imanja zaliha ne bude manja od određenog cilja. Što se veća vjerojatnost dostupnosti želi postići to više zaliha mora biti na stanju. Kako bi se postigla željena razina potrebno je povećavati S dok se ne ispuni željena vjerojatnost imanja zaliha. Optimalna količina zaliha računa se prema formuli (1) navedenoj u prošlom podpoglavlju.

4.4 Kontinuirano održavanje ciljane razine zaliha

Za objašnjenje ovog koraka potrebno je definirati nekoliko pojmova:[8]

- Zalihe na narudžbi (engl. *On order inventory*)
- Zalihe na stanju (engl. *On hand inventory*)
- Narudžbe na čekanju ili zaostale narudžbe (engl. *back-order*)
- Razina zaliha (engl. *Inventory level*)
- Pozicija zaliha (engl. *Inventory position*)

Zalihe na narudžbi predstavljaju broj jedinica koje su naručene u prethodnim razdobljima, a još nisu zaprimljene. Zalihe na stanju predstavljaju broj jedinica koji su odmah dostupne dok

narudžbe na čekanju predstavljaju broj jedinica na čekanju odnosno ukupnu količinu potražnje koja se dogodila ali nije ispunjena.

Model naručivanja do ciljane (zadane) razine zaliha pretpostavlja se da se sva potražnja na kraju ispuni i da nema izgubljene prodaje.

Razina zaliha (eng. *Inventory level*) je trenutna količina zaliha koja je fizički dostupna i spremna za isporuku.

Jednadžba u nastavku koristi se za izračun razine zaliha. Računa se tako da se oduzmu zalihe koje su na stanju sa narudžbama na čekanju.

$$\text{Razina zaliha} = \text{Zalihe na stanju} - \text{Narudžbe na čekanju} \quad (8)$$

Ako je vrijednost razine zaliha pozitivna to znači da postoji višak zaliha dostupan za pokrivanje buduće potražnje. Ako je vrijednost negativna to znači da postoji manjak zaliha i da će dodatne jedinice biti potrebne za pokrivanje svih trenutnih narudžbi na čekanju. Nakon izračuna razine zaliha potrebno je definirati poziciju zaliha (engl. *Inventory position*).

Razina zaliha i pozicija zaliha su naizgled dva slična pojma ali imaju veliku razliku. Njihova glavna razlika je kao što je moguće vidjeti i u formulama je ta što pozicija zaliha uzima u obzir i narudžbe koje tek trebaju doći u zadanom periodu a razina zaliha uzima u obzir samo trenutno dostupne jedinice. [9] Slikom 5 opisane su glavne razlike između pozicije zaliha i razine zaliha. Pozicija zaliha računa se tako da se zalihe na narudžbi oduzmu od zbroja zaliha na stanju i narudžbi na čekanju.

$$\text{Pozicija zaliha} = \text{Zalihe na narudžbi} + \text{Zalihe na stanju} - \text{Narudžbe na čekanju} \quad (9)$$

Ova jednadžba pruža sveobuhvatan prikaz trenutnog stanja zaliha jer obuhvaća cijelu sliku dostupnih zaliha. Ono što je trenutno dostupno, ono što je naručeno i još nije primljeno ili dostavljeno te što treba biti isporučeno u budućnosti.[12] Prema poziciji zaliha se određuje kolika će biti količina narudžbe. Kada je pozicija zaliha pozitivna, to znači da je trenutno dovoljno zaliha za ispunjenje potražnje. Ako je pozicija zaliha negativna to ukazuje na manjak zaliha i potrebu za dodatnim narudžbama kako bi se zadovoljila trenutna i buduća potražnja.

Razina zaliha (engl. *Inventory level*)

- Trenutna količina zaliha
- Odnosi se samo na fizički dostupne zalihe spremne za isporuku
- Koristi se za planiranje trenutnih narudžbi

Pozicija zaliha (engl. *Inventory position*)

- Ukupna količina zaliha
- Uključuje: trenutno dostupne zalihe, zalihe na narudžbi, narudžbe na čekanju
- Koristi se za planiranje budućih narudžbi

Slika 5 Razlika između razine i pozicije zaliha

Ako je na početku bilo kojeg razdoblja pozicija zaliha manja od razine S , tada se naručuje dovoljno zaliha za podići poziciju zaliha do razine S kako bi se uspješno zadovoljila potražnja. U svakom razdoblju naručuje se razlika između zadane razine S i trenutne pozicije zaliha [9] i računa se:

$$\text{Količina narudžbe} = S - \text{pozicija zaliha} \quad (10)$$

Pozicija zaliha uključuje zalihe na narudžbi, tako da nakon što je zatražena narudžba, pozicija zaliha odmah se povećava na razinu S . Za primjer na početku razdoblja razina zaliha je -4 , zalihe na narudžbi čine 1 jedincu, a odabrana razina je $S=3$. U ovoj situaciji potrebno je naručiti 6 jedinica prema jednadžbi (10).

$$\text{Količina narudžbe} = 3 - 1 - (-4)$$

$$\text{Količina narudžbe} = 6 \text{ jedinica}$$

Kada nastupi razdoblje u kojem je pozicija zaliha veća od S , tada se ne bi trebalo naručivati ništa. Na kraju će se pozicija zaliha smanjiti ispod S . Nakon toga kreira se narudžba i pozicija zaliha nikada više neće biti veća od S dok se god ne promijeni S . Pozicija zaliha pada ispod S samo kada se pojavi potražnja. Na primjer, pretpostavlja se da je $S=3$, pozicija zaliha na početku razdoblja iznosi 1. Ako se slijedi politika naručivanja do zadane razine u prethodnom razdoblju, tada je nakon narudžbe u prethodnom razdoblju pozicija zaliha bila 3. Jedini način na koji bi se u ovom razdoblju moglo imati poziciju zaliha od 1 je da su se potražnja za 2 jedinice dogodila u prethodnom razdoblju. Stoga treba naručiti 2 jedinice u ovom razdoblju kako bi se

podigla pozicija zaliha natrag na $S=3$. Zbog takvog principa rada, naručivanje do zadane razine ponekad se naziva i politikom naručivanja „jedan za jedan“.[9] Svaka jedinica potražnje pokreće narudžbu za jednu jedinicu za obnavljanje zaliha.

Da bi se održavala ciljana količina zaliha bez prekomjernog naručivanja ili nedovoljnog naručivanja važno je kontinuirano pratiti razinu zalihe kroz sljedeće korake:[9]

1. Praćenje podataka o potražnji.

Korištenjem metoda prognoziranja potražnje na temelju povijesnih podataka kao što su godišnje ili sezonske prognoze potražnje može se predvidjeti buduća potražnja s većom točnošću.

2. Praćenje razine zaliha i postavljanje točke ponovne narudžbe.

Pomoću matematičkih izračuna razine zalihe i pozicije zaliha u svakom trenutku je jasno koliko imamo dostupnih zaliha. To podrazumijeva točne izračune razne zaliha do koje naručujemo. Kao dodatni element osiguranja može se dodati točka ponovne narudžbe R . Ona pomaže izbjegavanju da zalihe padnu na nulu prije nego što stigne nova isporuka. Računa se prema sljedećoj jednadžbi [9]:

$$R = \mu \cdot L + z \cdot \sigma \quad (11)$$

Ova jednadžba osigurava da se nova narudžba postavi na vrijeme bez nepotrebnog povećanja zaliha ili rizika od nestašica zaliha.

3. Minimiziranje vremena isporuke.

Smanjenje vremena isporuke može pomoći u preciznijem upravljanju zalihama i smanjenju potrebe za velikim sigurnosnim zalihama. Metode za smanjivanje vremena isporuke su pregovori sa trenutnim dobavljačima o bržoj isporuci ili pronalazak pouzdanijeg dobavljača.[8]

5. Primjer proračuna bazne zalihe - studija slučaja

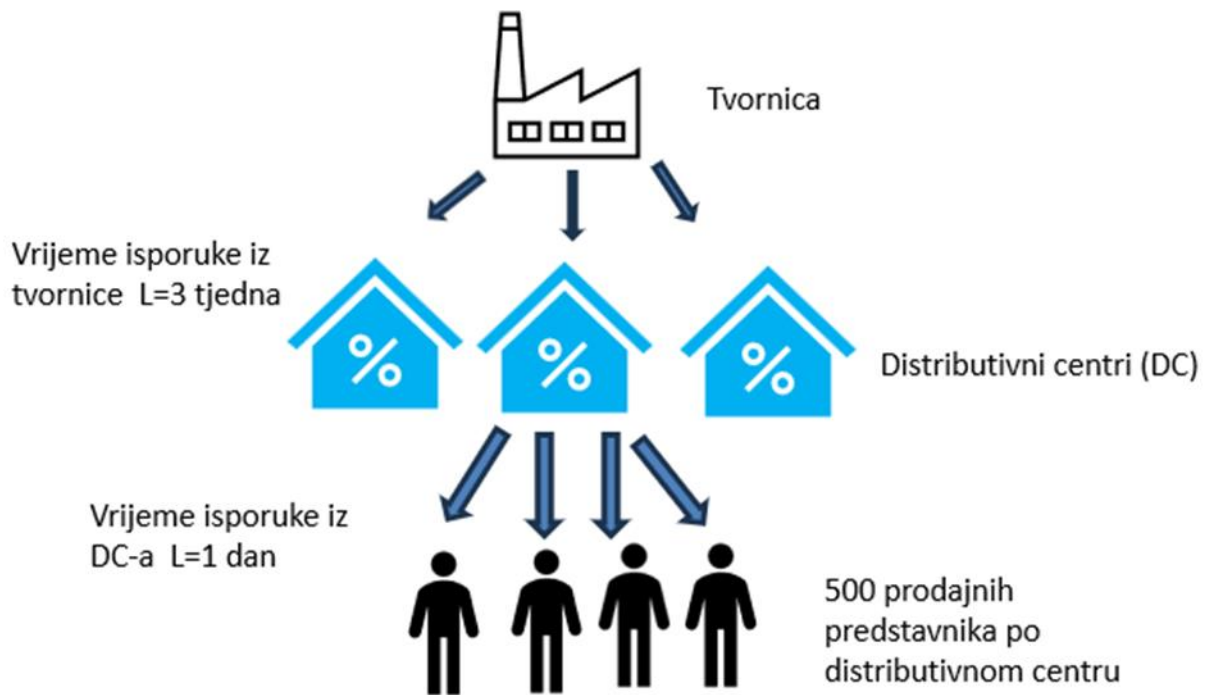
Proračun baznih zaliha primjenom modela naručivanja do ciljane razine zaliha prikazan je na primjeru medicinskog uređaja i to jednog određenog modela (InSyny ICD 7272) srčanog elektrostimulatora (engl. *Pacemaker*).[9] Naime, jedan proizvođač, kao i distributer te prodajni predstavnik može raspolagati s više različitih modela srčanih elektrostimulatora. Vrsta modela uređaja koja će se koristiti na korisniku ovisi o pogodnosti modela uređaja za korisnika, odluci nadležnog liječnika te raspoloživosti odabranog modela uređaja.

5.1 Opis osnovnih podataka u primjeru

Tvrtka u studiji slučaja je proizvođač medicinskih proizvoda kao što su srčani elektrostimulatori, proizvodi za liječenje kardiovaskularnih bolesti, proizvoda za kirurgiju i slično. Ovakvi proizvodi su specifični jer osiguravaju zdravlje i/ili zaštitu zdravlja ljudi, te podliježu posebnim pravilima u proizvodnji, distribuciji i primjeni. Zalihe u opskrbnom lancu ovakvih tvrtki (farmaceutske tvrtke) uobičajeno se dijele na 3 razine i to:[9]

- Zalihe u proizvodnim pogonima
- Zalihe u distribucijskim centrima (DC)
- Zalihe na terenskim lokacijama

U promatranoj studiji slučaja proizvodni pogoni nalaze se na više lokacija u svijetu i oni ne drže puno zaliha gotovih proizvoda promatranog elektrostimulatora. Farmaceutska tvrtka za svoje poslovanje posjeduje samo jedan distributivni centar iz kojeg se opskrbljuju prodajni predstavnici podijeljeni po regijama, ukupno njih 500 (jedna regija = jedan prodajni predstavnik).[9] Vrijeme isporuke (L) od proizvodnog pogona do distributivnog centra je 3 tjedna. Vrijeme isporuke (L) od distributivnog centra do prodajnog predstavnika je 1 dan. Grafički prikaz uređenja opskrbe proizvodom prikazan je slikom 6.



Slika 6 Prikaz opskrbe zaliham distributivnog centra i prodajnog predstavnika

Distributivni centar odgovoran je za visoku dostupnost zaliha za prodajne predstavnike na terenu. Stoga je najveći broj gotovih proizvoda kod prodajnih predstavnika na terenu. Terenske zalihe su podijeljene u dvije kategorije:[9]

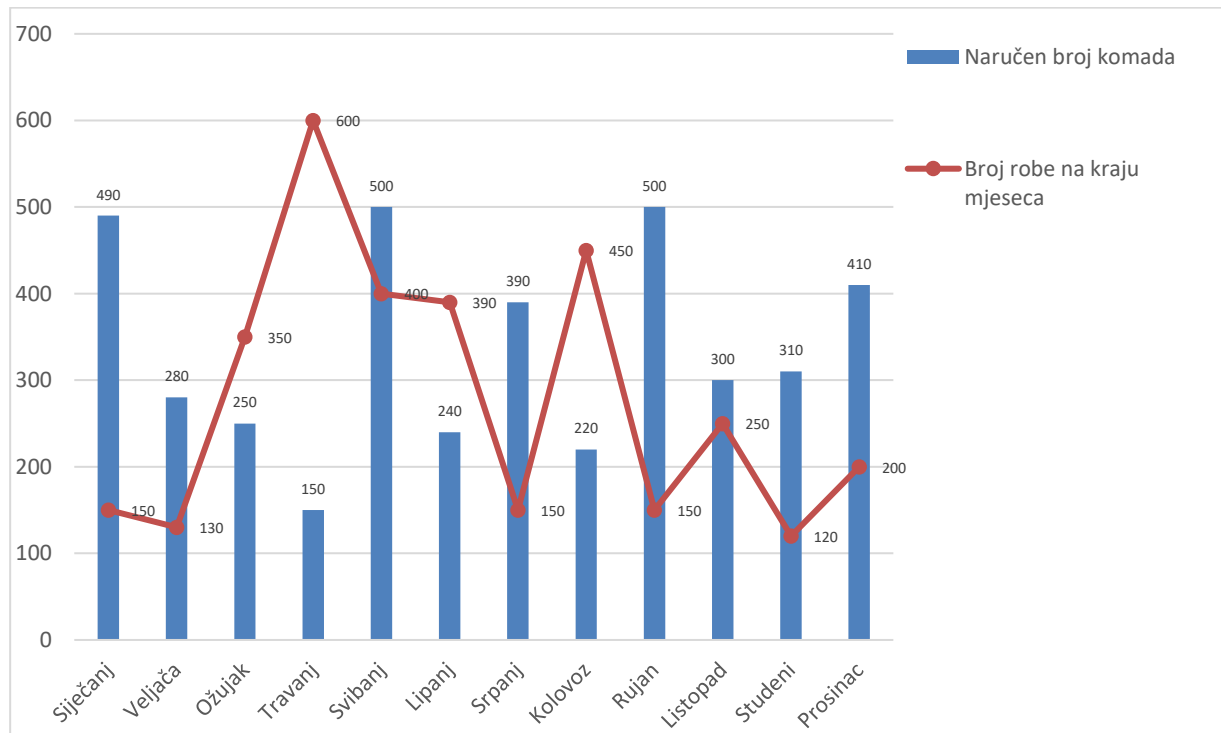
- Konsignacijske zalihe
- Prtljažne zalihe (eng. *truck inventory*)

Konsignacijske zalihe su zalihe u vlasništvu farmaceutske tvrtke i nalaze se na lokaciji kupca u ovom slučaju u bolničkom ormaru. Prtljažne zalihe su zalihe koje se nalaze u prtljažniku vozila prodajnog predstavnika. Prodajni predstavnici imaju pristup objema vrstama zaliha tako da se mogu smatrati jedinstvenima.

Kako se ovdje radi o specifičnoj vrsti proizvoda prodajni predstavnik prisutan je kod svakog operativnog zahvata koji uključuje mogućnost primjene srčanog elektrostimulatora, te uvijek sa sobom nosi razne modele proizvoda.

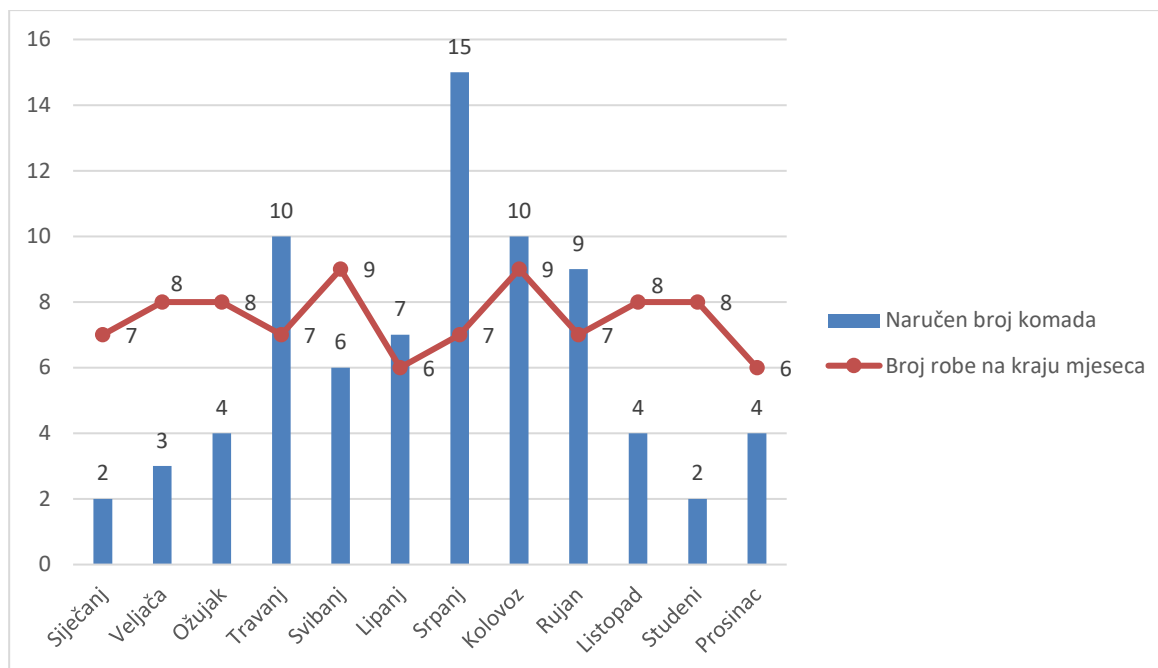
Nakon operativnog zahvata, odnosno implementacije elektrostimulatora (dogodila se potražnja), prodajni predstavnik nadopunjuje svoje zalihe. Nadopuna se radi tako što se poziva

korisnička podrška farmaceutske tvrtke koja zatim šalje narudžbu u distributivni centar (DC). Ako je traženi model proizvoda na zalihama u DC-u vrijeme između primitka narudžbe i isporuke obično je jedan dan, a rijetko više od dva dana. Nadopuna zaliha DC-a za promatrani proizvod radi se jedanput tjedno te je vrijeme isporuke tri tjedna. Stanje zaliha na kraju razdoblja i naručena količina za distributivni centar (naručuje od tvornice) i prodajnog predstavnika (naručuje od distributivnog centra) prikazani su na grafu 1 i 2.[9]



Graf 1 Prikaz mjesečnih narudžbi distributivnog centra

U cilju ostvarenja veće zarade svaki prodajni predstavnik trudi se osigurati u regiji koju pokrivaju da baš njegovi elektrostimulatori budu prvi izbor liječnika. Zbog tog razloga njima bi najviše odgovaralo da uza sebe uvijek imaju i dodatne zalihe kako ne bi došlo do nestašice.



Graf 2 Prikaz mjesečnih narudžbi jednog prodajnog predstavnika

5.2 Izračun optimalne razine usluge

Promatrana farmaceutska tvrtka odredila je stopu troška držanja terenskih zaliha na 35%. Naime, troškovi držanja zaliha obično se izražavaju kao stopa troškova držanja, što je trošak držanja jedne jedinice zaliha tijekom jedne godine, izražen kao postotak troška te stavke. Na primjer, ako tvrtka odredi svoju stopu troškova držanja na 20 posto, tada smatra da trošak držanja jedne jedinice u zalihama tijekom jedne godine iznosi 20 posto od troška te stavke. Troškovi držanja uključuju oportunitetni trošak kapitala, trošak kvarenja, zastarjelosti, osiguranja, skladištenja i tako dalje, sve varijabilne troškove povezane s držanjem zaliha.[9]

Ako promatrani elektrostimulator (model InSyny ICD 7272) ima 75% bruto marže tada je trošak tog proizvoda :

$$\text{Trošak} = (1-0.75) * \text{prodajna cijena} = 0.25 * \text{prodajna cijena}$$

Dakle, godišnji trošak držanja zaliha može se izračunati kao:

$$\begin{aligned} \text{Godišnji trošak držanja zaliha} &= 0.35 * 0.25 * \text{prodajna cijena} \\ &= 0.0875 * \text{prodajna cijena} \end{aligned}$$

Ako se pretpostavi da se trošak zaliha računa za 260 dana u godini (5 radnih dana tjedno) dnevni trošak držanja, dobije se kada se godišnji trošak držanja zaliha podijeli sa 260.

$$\text{Dnevni trošak držanja zaliha} = 0.00037 * \text{Cijena}$$

U ovom primjeru iz razloga što se radi o specifičnom proizvodu može se reći da svaka narudžba na čekanju koja nastaje zbog troška nedostatka zaliha rezultira izgubljenom prodajom. Trošak izgubljene prodaje iznosi bruto maržu proizvoda. Stoga, za procjenu, pretpostavlja se da je trošak jedne narudžbe na čekanju jednak bruto marži proizvoda, tj. C_u je $0,75 * \text{prodajna cijena proizvoda}$. Sa C_o se označava trošak viška zaliha koji u ovom slučaju iznosi $0.00037 * \text{prodajna cijena}$. Kako bi izračunali optimalnu razinu usluge potrebno je izračunati kritični omjer (CR) koji minimizira troškove u periodu uzimajući u obzir omjer troškova viška zaliha i troškova nedostatka zaliha odnosno narudžbe na čekanju. Primjenom formule (1) za farmaceutsku tvrtku s danim vrijednostima kritični omjer iznosi:

$$\text{Kritični omjer} = \frac{C_o}{C_o + C_u} = \frac{0.75 * \text{Cijena}}{0.75 * \text{Cijena} + 0.000337 * \text{Cijena}} = 0.9996$$

Ovaj omjer pokazuje da bi razina usluge trebala biti 99.96% potražnje što implicira da bi zalihe trebale biti dostupne u gotovo svim slučajevima. Odnosno nestašica zaliha trebala bi se dogoditi u prosjeku najviše 1 dan u periodu od 1000 dana.

Optimalna razina usluge za Medtronic je visoka zbog velikih razlika između troškova držanja zaliha i troškova nedostatka zaliha. Međutim, pri upravljanju zalihama treba uzeti u obzir specifičnosti distribucijskih centara u usporedbi s terenom te prilagoditi strategiju ovisno o fazi životnog ciklusa proizvoda kako bi se izbjegli problemi s viškom zaliha kada proizvod dosegne kraj svog životnog ciklusa.

5.3 Odabir distribucije potražnje

Odabir distribucija potražnje ključan je korak u upravljanju zalihama. Potražnja je obično nesigurna i varira tijekom vremena, pa je važno odabrati odgovarajuću distribuciju koja najbolje opisuje obrasce potražnje. Kako se ovdje radi o različitim potražnjama, distributivnog centra i prodajnog predstavnika, potrebno je odvojeno analizirati podatke o prodaji.

Kod modela naručivanja do ciljne razine, razina zaliha na kraju razdoblja jednaka je razini zaliha koja je naručena (S) minus potražnja tijekom $L + 1$ razdoblja. Dakle, iako se treba znati distribucija potražnje za jedno razdoblje, također potrebno je poznavati i distribuciju potražnje za $L + 1$ razdoblje. To znači da planiranje zaliha ne uključuje samo razumijevanje potražnje za jedno razdoblje, već se mora uzeti u obzir i akumulirana potražnja kroz više razdoblja kako bi se optimizirala razina zaliha i spriječila nestašica ili višak zaliha.

Analiza podataka u distributivnom centru (Graf 1) pokazuje da je potražnja promjenjiva, ali sa relativno stabilnim prosjekom tijekom godine. Prema prikazanim podacima prosječna mjesečna potražnja iznosi 349 jedinica, dok je standardna devijacija 122,38. S obzirom da su to vrijednosti potražnje koje nemaju ekstremnih odstupanja razumno je koristiti normalnu distribuciju za modeliranje mjesečne potražnje (slika 2). Budući da distributivni centar naručuje zalihe na tjednoj bazi i mjeri vrijeme isporuke u tjednima, potrebno je promijeniti mjesečnu distribuciju u tjednu distribuciju.[9] Pretpostavka je da je potražnja svakog tjedna neovisna o drugim tjednima i da mjesec u prosjeku ima 4.33 tjedna (52 tjedna godišnje/12 mjeseci). Primjenom formule (3) i (4) moguće je izračunati tražene vrijednosti za distribucijski centar:

- Srednja vrijednost tjedne potražnje distribucijskog centra

$$\mu_{\text{tjedno}} = \frac{\mu_{\text{mjesečno}}}{4.33} = \frac{349}{4.33} = 80.6$$

- Standardna devijacija tjedne potražnje distribucijskog centra

$$\sigma_{\text{tjedno}} = \frac{\sigma_{\text{mjesečno}}}{\sqrt{4.33}} = \frac{122.38}{\sqrt{4.33}} = 58.9$$

Potražnju za proizvodom tijekom $L + 1$ razdoblja, što je u ovom slučaju potražnja tijekom 4 tjedna ($3 + 1 = 4$ tjedna) onda iznosi:

$$\mu_{\text{tjedno}} = 4 * 80.6 = 322.4$$

$$\sigma_{\text{tjedno}} = 4 * 58.9 = 117.6$$

Ovo omogućuje procjenu očekivane potražnje i njezinu varijabilnost tijekom 4 tjedna, što je ključno za planiranje optimalne razine zaliha.

Analiza podataka potražnje od strane odabranog prodajnog predstavnika (Graf 2) pokazuje ukupnu godišnju potražnju od 75 jedinica proizvoda, što se može preračunati kao :

$$\textit{Prosječna mjesečna potražnja} = \frac{75}{12} = 6.25 \textit{ jedinica}$$

$$\textit{Prosječna tjedna potražnja} = \frac{75}{52} = 1.44 \textit{ jedinica}$$

$$\textit{Prosječna dnevna potražnja} = \frac{1.44}{5} = 0.29 \textit{ jedinica}$$

Procjena potražnje od 0.29 jedinica po danu za očekivanu potražnju implicira da je očekivana potražnja jednaka za bilo koji dan u godini, odnosno nema sezonalnosti tijekom godine, unutar mjeseca ili tjedna. Ovo znači da nema fluktuacija u potražnji zbog sezonskih varijacija ili specifičnih tjednih obrazaca. S obzirom da se potražnja događa u kratkim vremenskim intervalima i imala malu potražnju razumno je koristiti Poissonovu distribuciju za modeliranje potražnje (slika 2). Za razliku od normalne distribucije, koja je definirana s dva parametra (srednja vrijednost i standardna devijacija), Poissonova distribucija je definirana samo jednim parametrom, svojim srednjim vrijednostima.

Prema tome ako je prosječna dnevna potražnja 0.29 jedinica tada je očekivana potražnja u razdoblju L+1 dan (u ovom slučaju 2 dana) jednaka:[9]

$$\textit{Srednja vrijednost potražnje: } 2 * 0.29 = 0.58 \textit{ jedinica} \quad (12)$$

Standardna devijacija Poissonove distribucije računa se kao drugi korijen srednje vrijednosti, pa tako u ovom slučaju za jedno razdoblje iznosi:

$$\textit{Standardna devijacija} = \sqrt{0.29} = 0.539$$

Za potražnju tijekom dva dana standardna devijacija je

$$\textit{Standardna devijacija} = \sqrt{0.58} = 0.76$$

5.4 Primjer procjene naručivanja u modelu naručivanja do ciljane razine

U modelu naručivanja do ciljane razine koriste se nekoliko parametara kojima se procjenjuju performanse takvog modela. Uobičajeno se koriste vrijednost vjerojatnost dostupnosti zaliha (engl. *In-Stock Probability*), vjerojatnost nestašice zaliha (engl. *Stockout Probability*), očekivana količina narudžbi na čekanju (engl. *Expected Back Order*), očekivana količina zaliha (engl. *Expected On-Hand Inventory*) i očekivana količina u narudžbi (engl. *Expected On-Order Inventory* ili *Pipeline Inventory*).[9]

Dalje u tekstu prikazana je procjena performansi primijenjenog modela za dvije razine i to teritorij prodajnog predstavnika i zalihe u distributivnom centru. Prikazan je samo proračun vjerojatnosti dostupnosti (imanja) zaliha i vjerojatnost nestašice (neimanja) zaliha, te očekivana količina zaostale narudžbe. U tablici 1 prikazani su podaci koji su korišteni u izračunu vjerojatnosti ishoda.

Prema određenoj distribuciji potražnje potrebno je odredit kumulativnu funkciju raspodjele $F(S)$ i funkciju raspodjele vjerojatnosti $f(S)$ za izračunate srednje vrijednosti potražnje po razdobljima. Kumulativna funkcija raspodjele, $F(S)$, pokazuje vjerojatnost da će slučajna varijabla S biti manja ili jednaka ciljanoj vrijednosti. Funkcija raspodjele vjerojatnosti, $f(S)$, pokazuje vjerojatnost da će se dogoditi točno S događaja. [9]

Tablica 1 Prikaz podataka za promatrani slučaj

Varijabla	Teritorij prodajnog predstavnika	Distributivni centar
Distribucija potražnje	Poisson	Normalna
Prosječna potražnja za L	$\lambda=0.29$ komada proizvoda dnevno	$\mu=80.6$ komada tjedno
		$\sigma=58.81$ komada tjedno
Prosječna potražnja za L+1	$\lambda=0.58$ komada proizvoda za dva dana	$\mu=322.4$ kom za 4 tjedna
		$\sigma=117.6$ kom za 4 tjedna
Razina zaliha (maksimalna) koja je iskustveno procijenjena	S = 3 komada	S = 625 komada

U tablici 2 prikazana je kumulativna funkcija raspodjele $F(S)$ i funkcija raspodjele vjerojatnosti $f(S)$ za vrijednost srednje dnevne potražnje $\lambda=0.29$, dok je u tablici 3 prikazano isto kada je srednja potražnja $\lambda=0.56$ (proračun potražnje za razdoblje L+1) i odnosi se na prodajnog predstavnika.

Tablica 2 . Prikaz poissonove razdiobe za srednju potražnju 0.29

S	F(S)	f(S)
0	0.74826	0.74826
1	0.96526	0.21700
2	0.99672	0.03146
3	0.999777	0.00304
4	0.99999	0.00022
5	1	0.00001

Tablica 3 Prikaz poissonove razdiobe za potražnju 0.56

S	F(S)	f(S)
0	0.55990	0.55990
1	0.88464	0.32474
2	0.97881	0.09417
3	0.99702	0.01821
4	0.99966	0.00264
5	0.99966	0.00031

Prema podacima iz tablice 2 i 3 primjenom formule (5) i (6) sada je moguće izračunati vjerojatnosti ishoda ako je ciljana razina zaliha do koje se naručuje jednaka 3 ($S=3$). S obzirom

da se u modelu naručivanja do ciljane razine uvijek promatra razdoblje L+1, koristiti će se vrijednost F(S) za potražnju tog perioda $\lambda=0.58$ (tablica 3).

Primjenom formule (6) rezultati su slijedeći:

$$Vjerojatnost\ imanja\ zaliha = 99.702\%$$

Primjenom formule (5) rezultati su slijedeći:

$$Vjerojatnost\ nedostatka\ zaliha = 1 - 0.99702 = 0.298\%$$

Kod proračuna vjerojatnosti imanja ili nedostatka zaliha za distribucijski centar, prvo je potrebno pronaći odgovarajuću vrijednost z (Normalna distribucija) za potražnju tijekom L+1 razdoblja uz pomoć ranije navedene formule (7):

$$z = \frac{625 - 322.4}{117.6} = 2.57$$

Za standardnu normalnu distribuciju vjerojatnost dostupnosti zaliha znači da potražnja ne prelazi razinu narudžbe. Za vrijednost $z=2.57$ vjerojatnost imanja zaliha je prema tablici Normalne distribucije otprilike 0.9949 ili 99.49% :

$$P(\text{imanja zaliha}) = P(Z \leq 2.57)$$

$$P(\text{imanja zaliha}) \approx 0.9949$$

Vjerojatnost nedostatka zaliha je obrnuta jednadžba od jednadžbe dostupnosti zaliha pa slijedi:

$$P(\text{Nedostatka zaliha}) = 1 - 0.9949 = 0.0051$$

Dakle vjerojatnost nedostatka zaliha u distributivnom centru je otprilike 0.51%.

Očekivana količina narudžbi na čekanju(engl. *Expected Back Order*) odnosi se na očekivani broj narudžbi koje nisu isporučene na kraju bilo kojeg razdoblja. Ova vrijednost je važna jer pomaže u procjeni razine zaliha koje bi trebale biti na raspolaganju kako bi se izbjegli

nedostatci.[8]

U procjeni ove količine koristi se funkcija gubitka $L(S)$ kako bi se izračunao očekivani gubitak zbog nedovoljnih zaliha (ili, alternativno, zbog prekomjernih zaliha). Ova funkcija slijedi određenu distribuciju potražnje i pomaže kvantificirati rizike povezane s varijacijama u potražnji.

Potražnja na teritoriju prodajnog predstavnika slijedi Poissonovu distribuciju te je vrijednost $L(S)$ moguće pročitati u tablici funkcije gubitka za Poissonovu razdiobu koji iznosi za $L(3) = 0.0035$. [10] Ovo znači da ako prodajni predstavnik koristi ciljanu razinu zaliha $S=3$ može očekivati količinu narudžbi na čekanju u iznosu od 0.00335 komada. Drugim riječima, očekuje se da će u prosjeku doći do zaostatka od 0.00335 jedinica na kraju bilo kojeg razdoblja (dana). Iako se radi o malom broju, važno je uzeti u obzir taj izračun kako bi se optimizirala razina zaliha, posebno u situacijama kada je potrebno izbjeći nedostatke proizvoda.

U slučaju distributivnog centra i kada potražnja slijedi Normalnu distribuciju, funkciju gubitka $L(z)$ prema odabranoj razini S (625 komada) potrebno je odrediti iz tablice Normalne razdiobe za izračunatu vrijednost z koja u ovom slučaju iznosi 2.57. Vrijednost $L(2.57)$ pročitano iz tablice iznosi 0.0016. [8] Kada se vrijednosti uvrste u formulu (12) dobije se očekivana količina narudžbi na čekanju za distribucijski centar koja iznosi 0.19 komada proizvoda. [9]

$$\text{Očekivana količina narudžbi na čekanju} = \sigma \times L(z) \quad (13)$$

$$\text{Očekivana količina narudžbi na čekanju} = 117.6 * 0.0016 = 0.19 \text{ jedinica}$$

Ovaj rezultat pokazuje koliko se narudžbi ne može odmah ispuniti zbog nedostatka zaliha u distributivnom centru.

5.5 Procjena optimalne količine zaliha

U ovom poglavlju prikazuje se kako odabrati optimalnu količinu zaliha za prodajnog predstavnika i distribucijski centar. Cilj je minimizirati količinu zaliha, a pritom osigurati da vjerojatnost da su zalihe na stanju (vjerojatnost imanja zaliha) ne bude manja od postavljene

razine usluge. Prema izračunu u podpoglavlju 5.2 , kritični omjer (CR) za proizvod na razini distribucijskog centra i prodajnog predstavnika je 0.9999. To indicira ciljanu razinu usluge odnosno vjerojatnost imanja zaliha proizvoda od 99.99%. To znači da je za očekivati da će se nedostatak zaliha dogoditi u prosjeku samo jednom u 1000 dana.

Kako je u ranijem podpoglavlju navedeno (5.3) potražnja za promatranim proizvodom za teritorij koji opslužuje prodajni predstavnik prati Poissonovu distribuciju. Sukladno tome, kao i navedenom u podpoglavlju 5.4. optimalna razina količine zaliha proizvoda može se pronaći iz tablica za Poissonovu distribuciju ili izračunati uz pomoć MS Excella. Kumulativna funkcija raspodjele, $F(S)$, pokazuje vjerojatnost da će slučajna varijabla S biti manja ili jednaka ciljanoj vrijednosti. Funkcija raspodjele vjerojatnosti, $f(S)$, pokazuje vjerojatnost da će se dogoditi točno S događaja. [9]

Primjerice, prema tablici 3 (prikazuje vjerojatnosti događaja za razdoblje $L+1$) ako je $S=0$, vjerojatnost da su zalihe na stanju $F(S)$ je samo oko 56%. Ako je $S=3$, vjerojatnost se povećava na 99,7%, ali još uvijek ne ispunjava cilj od 99,9%. Međutim, ako se razina poveća na $S=4$, cilj se postiže s vjerojatnošću od 99,97%, što je čak više od ciljanog (jedan nedostatak zaliha u 2.941 dana, ili jednom u 11,31 godinu).

Jednako tako, prema navedenom u podpoglavlju 5.3, potražnja za proizvodom u distribucijskom centru prati normalnu distribuciju, te se optimalna količina zaliha može odrediti iz tablice Normalne distribucije ili koristeći MS Excell.

Iz tablice standardne normalne distribucije za razinu usluge (vjerojatnost imanja zaliha) od 99,9% dobije se vrijednost z koja iznosi 3.08. Sada je moguće izračunati ciljanu razinu zalihe uz pomoć formule (2):

$$S = 322.4 + 3.08 * 117.6 = 685.2$$

Sukladno prikazanom proračunu, ako je željena razina usluge 99,9%, optimalna razina zaliha koju treba održavati (S) je 4 komada promatranog proizvoda, dok za distribucijski centar razina zaliha treba biti postavljena na 685 komada promatranog proizvoda.

6. Zaključak

Zaključak ovog rada donosi detaljan pregled važnosti i složenosti upravljanja zalihama, s posebnim naglaskom na bazne zalihe i njihov utjecaj na cjelokupno poslovanje. Fokus je stavljen na model naručivanja do određene razine, koji omogućuje sustavno praćenje i obnavljanje zaliha do unaprijed određene razine, čime se značajno smanjuje rizik od nestašica i osigurava visok stupanj razine usluge. Cilj modela naručivanja do zadane razine je pronaći ravnotežu između previše skromnog vođenja zaliha (što dovodi do nepoželjnih nestašica tj. loše usluge) i previše obilnog vođenja zaliha (što dovodi do troškova skladištenja)

Teorijski dio rada obuhvatio je definicije ključnih pojmova poput vrste zaliha, sigurnosnih zaliha, optimalnih razina zaliha, te različite metode koje se koriste u procesu upravljanja zalihama. Naglašeno je da učinkovito upravljanje zalihama ima direktan utjecaj na financijsku stabilnost i operativnu učinkovitost poduzeća. Posebna pažnja posvećena je izazovima koje donosi promjenjiva potražnja, a modeli poput modela naručivanja do zadane razine omogućuju fleksibilnost u reagiranju na takve promjene.

Praktični dio rada oslanja se na konkretan primjer farmaceutske tvrtke koja prodaje medicinske uređaje, poput srčanog elektrostimulatora. Ovaj primjer jasno pokazuje kako se matematički modeli mogu implementirati u stvarni opskrbni lanac, u kojem je ključna preciznost u planiranju zaliha kako bi se izbjegle nestašice i smanjili operativni troškovi. Na praktičnom primjeru studije slučaja prateći opisane korake za primjenu modela naručivanja do zadane razine izračunata je količina zaliha potrebna za osiguranje visoke razine usluge. Na taj način prikazano je kako tvrtka može odredi koliko je zaliha potrebno držati na skladištu, kako bi se zadovoljila trenutna i buduća potražnja, uz minimalne troškove skladištenja.

Zaključno, rad pokazuje kako je kvalitetno upravljanje zalihama ključan faktor za postizanje konkurentne prednosti u modernom poslovanju. Tvrtke koje uspješno implementiraju sustave upravljanja zalihama, kao što su bazne zalihe u kombinaciji s naprednim matematičkim modelima, mogu znatno poboljšati svoju operativnu učinkovitost, smanjiti troškove, te bolje reagirati na promjene u potražnji. S obzirom na sve veću konkurenciju i dinamičnost tržišta, optimizacija zaliha predstavlja važnu strategiju za dugoročno održiv rast i uspjeh. Stoga je važno da tvrtke kontinuirano prilagođavaju i usavršavaju svoje sustave upravljanja zalihama.

Popis literature

- [1] Ammer, C., Ammer, D. S.: Dictionary of Business and Economics, The Free Press, London, 1984.
- [2] Šafran M.: Nastavni materijali iz kolegija " Upravljanje zalihama ", Fakultet prometnih znanosti
- [3] Sophie, Hennequin., Mohammad, Amin, Yazdani., Daniel, M., Roy. (2022). Echelon Base Stock Policy for Symbiotic and Reverse Logistic Flows. *Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems*, 55(10):269-274. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.399
- [4] N. Yazdan Shenasa, A. Eshraghnia Jahromi and M. Modarres.(2009). A New Approach to Find the Optimal Solution for Base Stock Policies. *Journal of Applied Science*. doi: 10.3923/jas.2009.789.793
- [5] Coursesidekick,4 Base Stock Models
<https://www.coursesidekick.com/management/72997> (pristupljeno 1.9.2024)
- [6] Olsson, F. Simple modeling techniques for base-stock inventory systems with state dependent demand rates. *Math Meth Oper Res* 90 61–76 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s00186-018-0654-0>
- [7] MIT OpenCourseWare, Newsvendor Inventory https://ocw.mit.edu/courses/15-772j-dlabupplychainsfall2014/6952be57b43aa185119c6f114908bcc5_MIT15_772JF14_Newsboy.pdf (pristupljeno 1.9.2024)
- [8] Operations management: Managing uncertainty of demand
<https://uploads.smart.ly/assets/8e52b139f658e52ea7667ffb56e486e9083ff45b469c24acff60477868ff5e5b/original/8e52b139f658e52ea7667ffb56e486e9083ff45b469c24acff60477868ff5e5b.pdf> (pristupljeno 1.9. 2024)
- [9] Cachon G: Matching supply with demand: An introduction to operations management, third edition, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020, 2009.
- [10] Gerald B, The relationship among the three distributions: binomial, poisson

and normal distribution, American Journal of Statistics and Actuarial Science ISSN 2520-4649 (online) Vol.4, Issue 1 No.1, pp 1 - 9, 2019

[11] Kraut. B: Strojarski priručnik, Zagreb,1997

[12] Jenkins A, What Is Inventory Positioning in Supply Chain Management?
<https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/inventory-positioning.shtml> (Pristupljeno 13.9.2024)

Popis slika

Slika 1 Prikaz vrsta razdiobe distribucije potražnje	9
Slika 2 Prikaz koraka modela naručivanja do određene razine	12
Slika 3 Prikaz redoslijeda događaja tijekom razdoblja $L=1$ dan.....	13
Slika 4 Prikaz razlika u odabiru distribucije potražnje	15
Slika 5 Razlika između razine i pozicije zaliha.....	20
Slika 6 Prikaz opskrbe zalihama distributivnog centra i prodajne predstavnice	23

Popis grafikona

Graf 1 Prikaz mjesečnih narudžbi distributivnog centra 24

Graf 2 Prikaz mjesečnih narudžbi prodajne predstavnice..... 25

Popis tablica

Tablica 1 Prikaz podataka za promatrani slučaj 30

Tablica 2 . Prikaz poissonove razdiobe za srednju potražnju 0.29 30

Tablica 3 Prikaz poissonove razdiobe za potražnju 0.56 30

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je 2 AVRŠNI RAO
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom PLAGIRANJE BAZIČNIH ZADATAKA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 12. 9. 2024


(ime i prezime, potpis)