



3. OPTIMIZACIJA U UPRAVLJANJU LANCEM SNABDEVANJA

U poglavlju su prikazana najvažnija pitanja vezana uz upravljanje zalihama. Poseban naglasak stavljen je na analizu logističkih podataka, za šta se može koristiti proračunska tabela. Ovde je opisano sledeće :



- koncept optimizacije u logistici,
- uloga skladišta u lancu snabdevanja,
- određivanje skladišnog prostora,
- odabrane metode upravljanja zalihama u lancu snabdevanja,
- alat Solver.

3.1. Uvod

Optimizacija u logistici je proces pronalaženja najučinkovitijeg načina organizovanja protoka robe, informacija i resursa kroz ceo lanac snabdevanja, od početne do konačne tačke, uz minimiziranje operativnih troškova uz istovremeno osiguranje visokog kvaliteta i ispunjavanje zahteva kupaca (Reszka, 2012). Cilj optimizacije u logistici je poboljšati različite aspekte aktivnosti, kao što su (Antoniuk i dr., 2021; Gupta i dr., 2022):

- smanjenje vremena protoka robe,
- optimizacija troškova transporta, skladištenja i rukovanja,
- poboljšanje kvaliteta logističke usluge,
- povećana fleksibilnost i osetljivost na promene potražnje,
- smanjenje nivoa zaliha uz osiguranje kontinuiteta snabdevanja,
- poboljšano upravljanje skladišnim prostorom i transportnim resursima,
- integracija i automatizacija logističkih procesa.



Modeli logističke optimizacije primenjuju se u odnosu na (Smyk, 2023): (1) dizajn distributivne mreže (određivanje lokacija distributivnih centara) – opisano u poglavlju Optimizacija logističke mreže, (2) projektovanje transportnih sistema (optimizacija transportnih zadataka, minimiziranje praznih vožnji, određivanje ruta isporuke) – opisano u poglavlju Optimizacija transporta, (3) upravljanje zalihama (raspodela zalihe, procena njihove veličine, određivanje vremena slanja narudžbina) – opisano u poglavlju Analitika snabdevanja i nabavke u pododjeljku Odabrane metode upravljanja zalihama u lancu snabdevanja, (4) projektovanje i upravljanje skladišnim aktivnostima (maksimiziranje učinkovitosti skladišnog prostora) – opisano u pododjeljku Određivanje skladišnog prostora.

U kontekstu optimizacionih modela postoji mnogo optimizacionih metoda gde se glavna klasifikacija ovih metoda bazira na vrsti optimizacionog zadatka koji treba rešiti. Sledeće **metode optimizacije** mogu se razlikovati prema (Jayarathna i dr., 2021; Kusiak i dr., 2021):

- vrsta problema koji se rešava: metode linearnog programiranja, metode nelinearne optimizacije,
- ograničenja: metode neograničene optimizacije, metode ograničene optimizacije,
- dimenzija problema (broj optimizacionih varijabli): univarijatne metode, multivarijatne metode (više optimizacionih varijabli),
- kriterijumi optimizacije: jednokriterijumske metode; višekriterijumske metode.

U logistici se često razmatra broj kriterijuma, a zadaci optimizacije se formuliraju kao jednokriterijumski ili višekriterijumski. U praksi se obično rešavaju zadaci jednokriterijumske optimizacije, uglavnom zbog jednostavnosti modela i lakoće njihove primene. Zadaci optimizacije s više kriterijuma zahtevaju složene modele, što često dovodi do situacija u kojima optimalno rešenje prema jednom kriterijumu može negativno uticati na ishod koji je usklađen s ciljem drugog kriterijuma. Kao rezultat toga, višekriterijumska rešenja zahtevaju postizanje kompromisa između različitih ciljnih funkcija, komplikujući određivanje nedvosmisleno najboljeg, optimalnog rešenja (Smyk, 2023). Stoga je u traženju parcijalnih kriterijuma i ciljeva za optimizaciju logističkih zadataka važno osigurati da oni budu (Silva i dr., 2005):

- potpuni (utičući na određeni problem odlučivanja),



- nesuvišni,
- minimizirani (s ciljem smanjenja veličine problema odlučivanja),
- operativni (merljivi),
- diferenciranje rešenja (omogućava identifikaciju najboljeg – optimalnog rešenja).

U poslovnim aktivnostima ključno je da kriterijum optimizacije bude jasno definisan, a model optimizacije treba odgovarati fundamentalnoj prirodi analiziranog problema (Smyk, 2023). Ovaj kriterijum se naziva funkcija cilja i bira se u kontekstu odluke koja se donosi ili u početnoj fazi logističkog planiranja. Ova funkcija služi kao mera za ocenu kvaliteta rešenja, pri čemu se optimalno rešenje postiže kada funkcija poprimi ekstrem (minimum ili maksimum) (Gupta i dr., 2022).

3.2. Uloga skladišta u lancu snabdevanja

U modernom logističkom sistemu svaka manipulacija materijalom podleže detaljnoj proverbi već u fazi projektovanja. Čak i manji prenos robe na kratkim udaljenostima, koji se obično događaju unutar zgrade ili između objekata i transportnog posrednika, počinju igrati vrlo važnu ulogu. Skladište je namenjeno skladištenju materijalnih dobara u za to predviđenom prostoru skladišne zgrade, prema utvrđenoj tehnologiji, opremljeno odgovarajućim uređajima i tehničkim sredstvima, kojim upravlja i servisira tim ljudi opremljen potrebnim veštinama (Miszewski, 2019). Najbolji mogući smeštaj robe u određenom prostoru omogućava potpunije iskorišćenje ograničenog kapaciteta objekata i smanjuje broj manipulacija određenom robom (Ghiani, 2004; Muller, 2002).

U kontekstu lanca snabdevanja, skladište ima izuzetno važnu ulogu, služeći kao ključno središte za koordinaciju i skladištenje robe, što je neophodno za nesmetan protok proizvoda od proizvođača do potrošača. Njegov rad je od suštinske važnosti za učinkovito upravljanje zalihama, omogućavajući minimiziranje rizika nedostataka (manjkova) i viškova zaliha, čime se održava ravnoteža između potražnje i ponude. Štaviše, skladište ima važnu ulogu u procesu kontrole kvaliteta, nudeći mogućnost provere i pripreme proizvoda za dalju distribuciju, osiguravajući

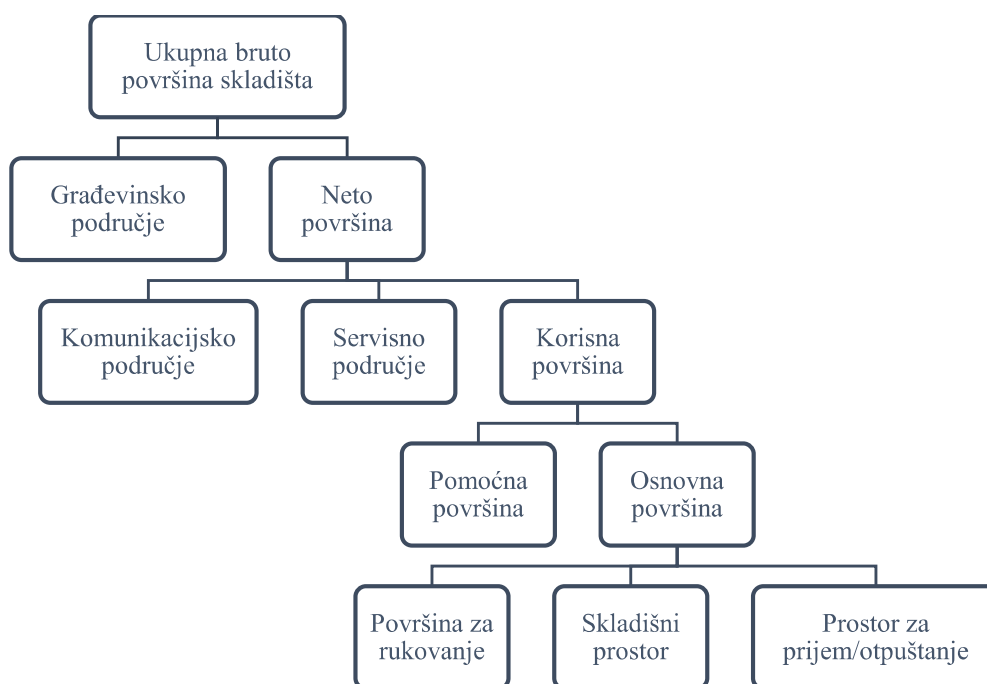


njihovu usklađenost sa standardima i očekivanjima kupaca. Uvođenje savremenih **sistema upravljanja skladištem** (engl. *Warehouse Management System, WMS*) doprinosi značajnoj optimizaciji logističkih procesa, što zauzvrat povećava učinak poslovanja i omogućava smanjenje operativnih troškova. Konačno, skladišta su izuzetno važna u prilagođavanju lanca snabdevanja tržišnim uslovima koji se dinamički menjaju, omogućavajući organizacijama da brzo odgovore na evoluciju potražnje i promenjive preferencije potrošača, što je ključno u održavanju tržišne konkurentnosti (Gu i dr., 2007; Ramaa i dr., 2012).

3.3. Određivanje skladišnog prostora

Osnovni zahtevi u skladišnim procesima uključuju primanje **jedinica za čuvanje zaliha** (engl. *Stock Keeping Unit, SKU*) od dobavljača, skladištenje SKU-ova, primanje narudžbina od kupaca, odabir SKU-ova i njihovo sastavljanje za otpremu te slanje kompletiranih narudžbina kupcima. Projektovanje i rad skladišta koje ispunjava te zahteve uključuje mnoga pitanja. Resursi kao što su prostor, radna snaga i oprema moraju se rasporediti između različitih skladišnih funkcija, a svaka funkcija mora biti pažljivo implementirana, upravljana i koordinirana kako bi zadovoljila zahteve sistema u smislu kapaciteta, protoka i usluge uz minimalnu cenu resursa. Skladištenje se bavi organizacijom robe u skladištu kako bi se postigla visoka iskorišćenost prostora i omogućio učinkovit transport materijala (Gu i dr., 2007).

Funkciju skladištenja oblikuju tri osnovne odluke: koliko zaliha određenog SKU-a treba biti čuvano u skladištu; koliko često i u koje vreme treba popunjavati zalihe za SKU; i gde se unutar skladišta SKU treba skladištiti, raspoređivati i premeštati između različitih skladišnih područja. Prva dva pitanja dovode do problema povezanih s veličinom serije i problema koji spadaju u tradicionalno područje kontrole zaliha (Hariga i Jackson, 1996). Dva glavna kriterijuma za donošenje odluka o raspodeli skladišnih zona su efikasnost skladištenja, koja odgovara skladišnom kapacitetu, i efikasnost pristupa, koja odgovara resursima potrošenim prodajom i ispunjavanjem narudžbina (Gu i dr., 2007).



Slika 3. 1. Podela skladišnog prostora

Izvor: (Dudziński i Kizyn, 2002).

Izračunavanje skladišnog prostora zahteva razmatranje njegovih različitih vrsta (slika 3.1). U preduzeću je korisna površina podeljena na zone koje odgovaraju fazama skladišnog procesa: prijem, skladištenje (kratkoročno i dugotrajno), komisioniranje, otprema, kao i manipulativni i pomoćni prostor. Veličina i oblik skladišta zavise od sledećih varijabli:

- vrsta, broj i dimenzije mesta na kojima se obavljaju skladišni poslovi u prihvatnoj i otpremnoj zoni,
- dimenzije i broj skladišnih polja u skladišnom prostoru,
- dimenzije i veličina površina za odlaganje,
- parametri redova polica i broj stubaca u redovima,
- širina radnog prolaza za odabrani viljuškar,
- širina komunikacionih puteva za opremu i osoblje.

Ukupna površina skladišta S može se izraziti formulom:

$$S = f_s + f_p = f_s + f_w + f_d + f_a$$

gde:



f_s – skladišni prostor,

f_{str} – pomoćni prostor,

f_w – prostor namenjen za prijem, sortiranje i otpremu materijala,

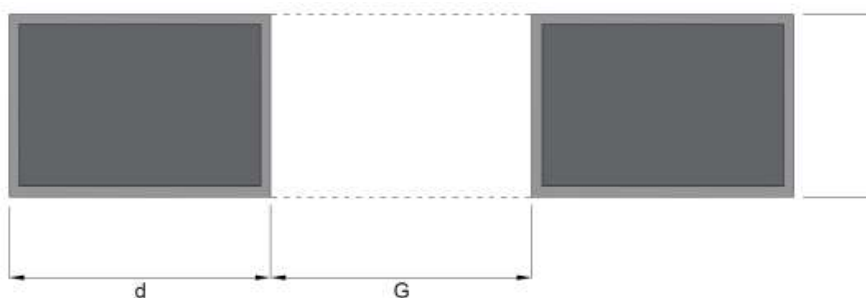
f_d – površina koju zauzimaju prolazi i prilazi,

f_a – upravno i društveno područje.



Formula koja se koristi u Excelu:

$S = [\text{skladišni prostor}] + [\text{pomoćni prostor}] = [\text{skladišni prostor}] + [\text{prostor za prijem, sortiranje i otpremu materijala}] + [\text{prostor koji zauzimaju prolazi i prilazi}] + [\text{administrativni i društveni prostor}]$



Slika 3. 2. Skladišni modul za skladištenje u nizu bez opreme s vertikalnim rasporedom paletizovanih LU

Izvor: sopstvena studija

Deo skladišnog prostora koji uključuje horizontalnu projekciju najmanjeg ponovljivog dela dva reda ili blokova jedinica tereta (engl. *Load Unit*, LU) zajedno s prostorima za rukovanje za skladištenje i manipulativnim putem između njih je skladišni modul. Usvajanje ove veličine omogućava procenu veličine skladišnog prostora. Skladišni moduli za skladištenje u nizu bez opreme mogu se postaviti na dva načina (sl. 3.2 i sl. 3.3).



Slika 3. 3. Skladišni modul za redno skladištenje bez opreme s paralelnim rasporedom paletizovanih LU

Izvor: sopstvena studija

Površina skladišnog modula za skladištenje u nizu bez opreme izračunava se po formuli:

$$M = (2 \times d + G) \times l$$

gde je:

d – širina odlagališta [m],

G – širina puta za rukovanje [m],

l – dužina skladišnog polja [m].

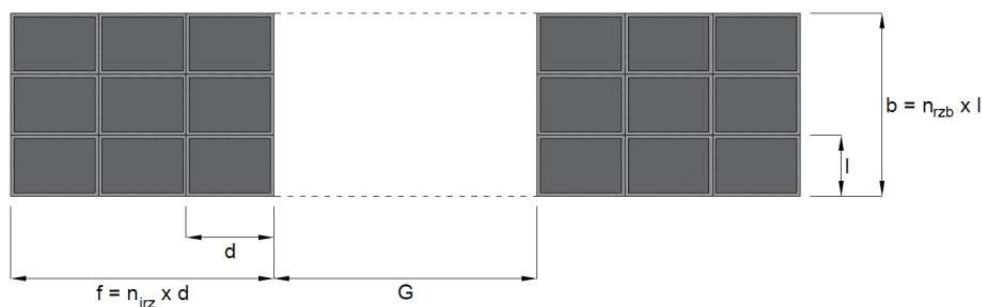
Kapacitet modula jednak je 2 paletizovane jedinice tereta za jednoetažno skladištenje i $2 \times n$ paletizovanih jedinica tereta za složeno skladištenje pri slaganju u n nivoa.



Formula koja se koristi u Excelu :

$$M = (2 * [\text{širina površine za odlaganje}] + [\text{širina puta za rukovanje}]) * [\text{dužina skladišnog polja}]$$

Skladišni moduli za blok skladištenje bez opreme mogu se rasporediti kao što je prikazano na slici 3.4.



Slika 3. 4. Skladišni modul za blok skladištenje bez opreme

Izvor: sopstvena studija

Površina skladišnog modula za blok skladištenje bez opreme izračunava se po formuli:

$$Mb = (2xf + G) \times b = (2 \times n_{LUz} \times d + G) \times n_{LUb} \times l$$

gde je:

 f – širina bloka [m], G – širina puta rukovanja [m], b – dužina bloka [m], n_{LUz} – broj tovarnih jedinica u redu bloka, d – širina skladišnog prostora [m], n_{LUb} – broj redova u bloku, l – dužina skladišnog polja [m].

Kapacitet modula jednak je $2 \times n_{LUz} \times n_{LUb}$ paletizovanih tovarnih jedinica za jedan nivo skladištenje i $2 \times n_{LUz} \times n_{LUb} \times n$ paletizovanih teretnih jedinica za naslagano skladištenje pri slaganju u n nivoa.



Formula koja se koristi u Excelu :

$$Mb = (2 * [\text{širina bloka}] + [\text{širina puta rukovanja}]) * [\text{dužina bloka}]$$



Dodatno, volumen se može izračunati za module za skladištenje – uzimajući u obzir visinu jedinice za utovar ili kada su jedinice za utovar složene. Volumen **skladišnog modula** (kapacitet modula) zavisi od njegove površine (Mb) i visine formirane tovarne jedinice (h). Volumen modula izračunava se prema formuli :

$$V_M = [(2 \times f + G) \times b] \times h$$

$$h = n_{rh} \times h_o + h_{str}$$

gde:

f – širina bloka [m],

G – širina puta rukovanja [m],

b – dužina bloka [m],

h – visoko paletizirano opterećenje jedinice [m],

n_{rh} – broj slojeva po jedinici paletizovanog tereta,

h_o – visina zbirne ambalaže [m],

h_p – visina [m].

Prvi deo formule je formula za površinu modula, a drugi deo je visina formirane jedinice opterećenja.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{širina bloka}] + [\text{širina puta rukovanja}]) * [\text{dužina bloka}]\} * [\text{visina paletnog opterećenja}]$$

Volumen **skladišnog modula** (kapacitet modula) zavisi od njegove površine (Mb) i visine do koje je formirana jedinica tereta (H). Volumen modula izračunava se pomoću formule:

$$V_M = [(2 \times f + G) \times b] \times H$$

$$H = n \times h = n \times (n_{rh} \times h_o + h_p)$$

gde:

f – širina bloka [m],



G – širina puta rukovanja [m],
 b – dužina bloka [m],
 H – visina bloka [m],
 n – broj nagomilanih jedinica,
 h – visina jedinica paletizovanog tereta [m],
 n_{rh} – broj slojeva po jedinici paletizovanog tereta,
 h_o – visina zbirne ambalaže [m],
 h_p – visina medija [m].



Formula koja se koristi u Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{širina bloka}] + [\text{širina puta rukovanja}]) * [\text{dužina bloka}]\} * [\text{visina bloka}]$$

Iskorišćenost skladišnog prostora procenjuje se omerom iskorišćene površine prema ukupno raspoloživoj površini. U skladištima u kojima se ne koriste paletni regali, postizanje najveće vrednosti ovog pokazatelja osigurava se skladištenjem materijala u blok rasporedu, s vrednostima iskorišćenja prostora od 0,6 do 0,8. Za poređenje, ovaj pokazatelj za redni raspored skladišta kreće se od 0,25 do 0,6. Težnja ka optimizaciji iskorišćenosti prostora kod ovakvog tipa skladišta dovodi do ograničenja u uslovima slaganja materijala i nedostupnosti asortimana koji se nalazi u sredini blokova, te je primenjiv samo za homogeni asortiman, bez dodatnih finansijskih izdataka za opremanje skladišta. U slučajevima kada je jedini kriterijum vrednovanja povećanje količine uskladištenog asortimana, kao dobro rešenje se pokazuje korišćenje protočnih paletnih regala. Omogućavaju visoku stopu iskorišćenja zbog ograničenja broja transportnih puteva, ali istovremeno omogućavaju FIFO (engl. *First In, First Out*) principa. Maksimalna iskorišćenost raspoloživog skladišnog prostora moguća je zahvaljujući korišćenju metode skladištenja slobodnog prostora, koja pretpostavlja da se asortiman može odložiti – smestiti, u bilo koji slobodni regalni prostor (Kisielewski i Talarek, 2020).



3.4. Odabrane metode upravljanja zalihama u lancu snabdevanja

Upravljanje zalihama u lancu snabdevanja je ključni element koji osigurava operativnu fluidnost, smanjenje troškova i utiče na zadovoljstvo kupaca. Postoje mnoge metode upravljanja zalihama, od kojih svaka može biti pogodna u zavisnosti od specifičnosti industrije, karakteristika proizvoda, dinamike potražnje i drugih operativnih faktora (Cyplik i Hadaś, 2012).

Klasični koncept upravljanja zalihama omogućava upravljanje zalihama u distributivnoj mreži, gde se one obično nalaze na različitim mestima. Rešavanje problema zaliha smeštenih na više lokacija prvenstveno se fokusira na analizu veličine sigurnosnih zaliha (Mascle i Gosse, 2014). Sigurnosne zalihe zavise od varijabilnosti potražnje u ciklusa popunjavanja zaliha, izražene kao standardna devijacija potražnje u tom periodu i faktora sigurnosti koji zavisi od usvojenog nivoa usluge. Ako se pretpostavi isti nivo usluge za različite lokacije skladištenja zaliha, tada nivo sigurnosnih zaliha zavisi od varijabilnosti potražnje koja se opslužuje s date lokacije. U formulama se pretpostavlja da je na svim servisnim tačkama tržišta usvojen isti nivo usluge ($\omega_{MR1} = \omega_{MR2} = \omega_{MR3} = \dots = \omega_{MC}$) i isti sistem popunjavanja zaliha (Cyplik i Hadaś, 2012).

Sigurnosne zalihe zavise od varijabilnosti potražnje u ciklusa popunjavanja zaliha, izraženo standardnom devijacijom potražnje u tom periodu i faktorom sigurnosti zavisnom od usvojenog nivoa usluge. Ako se pretpostavi isti nivo usluge za različite lokacije skladištenja zaliha, nivo sigurnosnih zaliha zavisi od varijabilnosti potražnje koja se opslužuje s date lokacije. Problem nije izračunavanje ukupne potražnje u slučaju više lokacija potražnje (ukupna potražnja je zbir prosečnih potražnji na svakoj lokaciji). Za izračunavanje standardne devijacije zbira zahteva treba koristiti zakon kvadratnog korena, koji pretpostavlja da je standardna devijacija zbira zahteva jednaka kvadratnom korenu zbira njihovih standardnih odstupanja. Ispod su formule koje omogućavaju ove proračune. Dobijeni rezultati biće tačni pod pretpostavkom da su isti nivo usluge ($\omega_{L1} = \omega_{L2} = \omega_{L3} = \dots = \omega$) i isti sistem popunjavanja zaliha usvojeni u svim servisnim tačkama na tržištu (Cyplik i Hadaś, 2012).



Formula za izračunavanje sigurnosnih zaliha:

$$S_S = \omega \times \sigma_{DT}$$

Formula za izračunavanje standardne devijacije zbira zahteva:

$$\sigma_{(D1+D2+D3+...Dn)} = \sqrt{\sigma_{D1}^2 + \sigma_{D2}^2 + \sigma_{D3}^2 + \dots + \sigma_{Dn}^2}$$

gde:

n – broj lokacije,

D_n – vrednost individualne potražnje u n -toj lokalizaciji.

Ukupne sigurnosne zalihe za potražnju kojom se upravlja npr. iz centralnog skladišta može se izračunati kao:

$$\begin{aligned} S_{ST} &= S_{S(D1+D2+D3+...+Dn)} = \omega \times \sigma_{(D1+D2+D3+...Dn)} = \\ &= \omega \times \sqrt{\sigma_{P1}^2 + \sigma_{P2}^2 + \sigma_{P3}^2 + \dots + \sigma_{Pn}^2} = \\ &= \sqrt{\omega^2 \times \sigma_{P1}^2 + \omega^2 \times \sigma_{P2}^2 + \omega^2 \times \sigma_{P3}^2 + \dots + \omega^2 \times \sigma_{Pn}^2} = \\ &= \sqrt{S_{SL1}^2 + S_{SL2}^2 + S_{SL3}^2 + \dots + S_{SLn}^2} \end{aligned}$$

gde:

S_{ST} – ukupne sigurnosne zalihe,

S_{SLn} – sigurnosne zalihe na n -toj lokaciji.

U posebnom slučaju, ako su sigurnosne zalihe na svim lokacijama iste (uopšteno kao rezultat iste potražnje koju opslužuje svaka od ovih lokacija) i jednake S_{STn} , tada je centralizovana zaliha S_{STD} jednaka :

$$S_{STD} = S_{STn} \times \sqrt{n}$$

gde je n broj točaka lokacija skladišta.



Formula koja se koristi u Excelu:

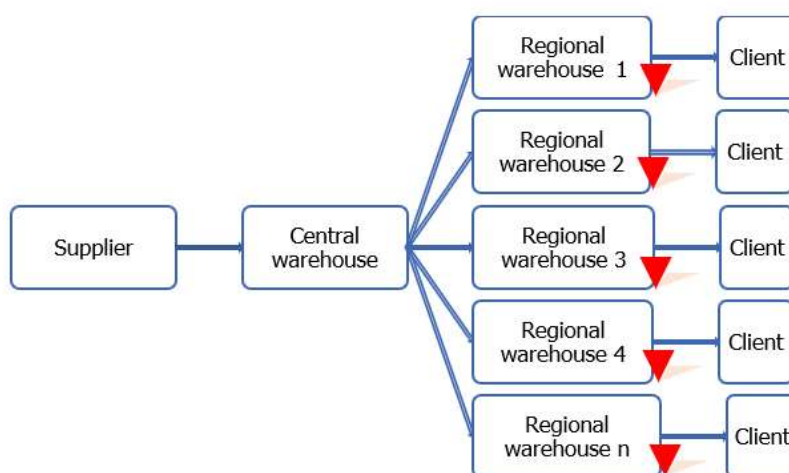
$$SST = [\text{faktor sigurnosti}] * [\text{standardna devijacija zbira zahteva u tačkama D1-Dn u ciklusu popunjavanja}] = [\text{faktor sigurnosti}] *$$

$$\text{SQRT}[(\text{STDEV.P}([\text{raspon } \text{ćelija za D1}])^2) + (\text{STDEV.P}([\text{raspon } \text{ćelija za D2}])^2) + \dots + (\text{STDEV.P}([\text{raspon } \text{ćelija za Dn}])^2)]$$

Jedno od pitanja koje zahteva analizu u kontekstu optimizacije lanca snabdevanja je lokacija skladišta, uzimajući u obzir odnos između značajnih parametara. Način razmeštaja zaliha može se posmatrati na dva načina – kao disperzovane zalihe ili centralizovane zalihe.

U slučaju disperzovanih (decentralizovanih) zaliha (slika 3.5), kupci se opslužuju direktno iz zaliha koje se nalaze u regionalnim skladištima (engl. Regional Warehouse, RW), gde se održavaju sigurnosne zalihe. U svrhu izračunavanja, napravljene su sledeće pretpostavke (Krzyżaniak, 2006):

- potražnja je ravnomerno raspoređena na n regionalnih skladišta,
- nedeljna potražnja u svakom od ovih skladišta može se opisati distribucijom s prosečnom potražnjom od D_{RW} i standardnom devijacijom σ_{DRW} ,
- nabavna cena od dobavljača jednaka je P ,
- koeficijent nedelnog knjigovodstvenog troška zaliha je u_t i isti je u svim skladištima,
- vreme ciklusa popunjavanja u regionalnim skladištima je jednako za svako skladište i iznosi T_1 (bez značajnijih odstupanja).



Slika 3. 5. Ilustracija slučaja disperzovanih zaliha

Izvor: (Krzyżaniak, 2006).



S obzirom na pretpostavke, ukupni nedeljni trošak održavanja sigurnosnih zaliha u mreži jednak je:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n HCSS_{RW}$$

Ravnomernom raspodelom potražnje po svim skladištima dobijamo:

$$C_1 = n \times SS_{RW} \times P \times u_t = n \times \omega \times \sigma_{DRW} \times \sqrt{T_1} \times P \times u_t$$

gde:

ω – faktor sigurnosti, zavisao od odabranog nivoa usluge i vrste distribucije koja opisuje zadatu frekvencijsku distribuciju potražnje,

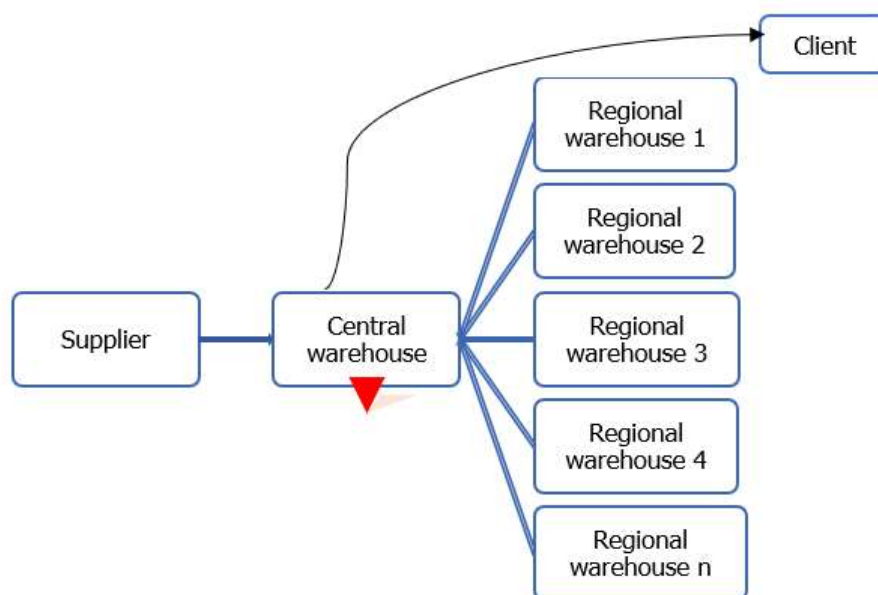
SS_{RW} – sigurnosne zalihe u svakom regionalnom skladištu.

Budući da je $\sigma_{DRW} = V \times D_{RW}$, gde je V koeficijent varijacije $V = \frac{\sigma_D}{D}$, formula ima oblik:

$$C_1 = n \times \omega \times V \times D_{RW} \times \sqrt{T_1} \times P \times u_t$$

U opštem modelu za centralizovane zalihe (Sl. 3.6), kupci se opslužuju iz centralnog skladišta (engl. Central Warehouse, CW) direktnim isporukama, kao što su kurirske pošiljke. U svrhu izračunavanja, napravljene su sledeće pretpostavke (Kżyżaniak, 2006):

- nedeljna potražnja u centralnom skladištu je zbir potražnje posmatrane na tržištima povezanim s pojedinačnim regionalnim skladištima i može se opisati distribucijom s prosečnom $D_{CW} = n \cdot D_{RW}$ i standardnom devijacijom $\sigma_{DCW} = \sigma_{DRW} \times \sqrt{n}$ (prema zakonu kvadratnog korena),
- koeficijent nedelnog knjigovodstvenog troška zaliha u_t je isti kao za regionalna skladišta,
- vreme ciklusa popunjavanja u centralnom skladištu je T_2 ,
- u slučaju zahteva kupaca, proizvod se isporučuje direktno kupcu u obliku kurirske pošiljke s jediničnim troškom c_{cs} , čime se održava slično vreme izvršenja narudžbine kupca kao i u slučaju usluge iz regionalnih skladišta.



Slika 3. 6. Ilustracija slučaja centralizovanih zaliha

Izvor: (Krzyżaniak, 2006)

Nedeljni trošak održavanja sigurnosnih zaliha u centralnom skladištu jednak je:

$$C_{2(SS)} = SS_{CW} \times P \times u_t = \omega \times \sigma_{DCW} \times \sqrt{T_2} \times P \times u_t.$$

Jer, kako je zamišljeno $T_2 = \alpha \times T_1$:

$$C_{2(SS)} = \omega \times \sigma_{DCW} \times \sqrt{\alpha \times T_1} \times P \times u_t = \omega \times \sigma_{DRW} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times P \times u_t$$

Budući da se događa $\sigma_{DRW} = V \times D_{RW}$, gde je V takozvani koeficijent varijacije $V = \frac{\sigma_p}{D}$, tada uzorak ima oblik:

$$C_{2(SS)} = \omega \times V \times D_{RW} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times P \times u_t$$

Važno je napomenuti da pretpostavka $T_2 = \alpha \times T_1$ uzima u obzir različita rešenja za organizovanje dostava u oba slučaja. Na primer, u slučaju disperzovanih zaliha, isporuke regionalnim skladištima mogu se sprovoditi prema sistemu periodičnog pregleda, a u centralizovanom sistemu koji se bazira na tzv. tački ponovnog naručivanja (informacioni nivo). Može se pretpostaviti da će se to obično dogoditi $T_2 < T_1$.



Ukupni nedeljni direktni kurirski troškovi za kupca jednaki su:

$$C_{2(supplies)} = n \times D_{RW} \times c_{cs}$$

Postavljajući pitanje kada je isplativo disperzovati zalihe, odnosno kada će biti troškovno povoljnije održavati sigurnosne zalihe u n regionalnih skladišta i iz njih opsluživati lokalne kupce nego koncentrisati zalihe u centralno skladište i ispunjavati narudžbine kupaca direktnim isporukama, odgovor se svodi na rešavanje nejednakosti:

$$C_1 < C_{2(ss)} + C_{2(zalihe)}$$

da je :

$$n \times \omega \times V \times D_{RW} \times \sqrt{T_1} \times P \times u_t < \omega \times V \times D_{RW} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times P \times u_t + n \times D_{RW} \times c_{cs}$$

Nakon transformacije dobijamo:

$$V < \frac{n \times c_{cs}}{\omega \times \sqrt{T_1} \times P \times u_t \times (n - \sqrt{n \times \alpha})}$$

Iz ovog oblika dobijamo zavisnosti čije ispunjenje garantuje ispunjenje nejednakosti $C_1 < C_{2(ss)} + C_{2(zalihe)}$ i nametnuti uvlov:

$$V < \frac{\left[\frac{c_{cs}}{P \times u_t} \right]}{\omega \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]}$$

ili

$$\omega < \frac{\left[\frac{c_{cs}}{P \times u_t} \right]}{V \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]}$$

No, najinformativniji je sledeći odnos jer kombinuje sve troškovne elemente u izrazu na levoj strani nejednakosti, a na desnoj strani parametre koji se odnose na implementaciju i traženi nivo usluge:

$$\left[\frac{c_{cs}}{P \times u_t} \right] > V \times \omega \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]$$

Snage klasičnog koncepta upravljanja zalihama su sledeće:



- jednostavnost i jasnoća – lako ih je razumeti i implementirati,
- pomoć u minimiziranju ukupnih troškova upravljanja zalihama balansiranjem troškova naručivanja i držanja zaliha, s ciljem ekonomske količine narudžbine,
- jasni i definisani procesi donošenja odluka koji pomažu u upravljanju narudžbinama i zalihama na osnovu izračunaproračuna i unapred definisanih pravila.

Slabosti klasičnog koncepta upravljanja zalihama uključuju:

- potreba za pretpostavkom stalne i predvidljive potražnje, koja ne odgovara uvek dinamičnoj i promjenljivoj tržišnoj stvarnosti.
- ne uzima u obzir varijabilnost potražnje i rizik u lancu snabdevanja (npr. kašnjenja isporuke, tržišne promene),
- nedostatak fleksibilnosti u odgovoru na brze promene na tržištu ili lancu snabdevanja, budući da se baziraju na fiksnim parametrima i ne predviđaju dinamičko prilagođavanje novim uslovima.

Klasični koncept upravljanja zalihama ima svoje mesto u teoriji i praksi operativnog menadžmenta, no u savremenom poslovnom svetu koji se brzo menja često se nadopunjuje naprednijim i fleksibilnijim metodama i analitičkim alatima.

DRP (Planiranje distributivnih potreba, engl. *Distribution Requirements Planning*) – koordinira potražnju s nivoima zaliha na različitim lokacijama. To je jedna od metoda optimiziranja upravljanja isporukama finalnih proizvoda u distributivnoj mreži i koristi se za planiranje nivoa i lokacije skladištenja zaliha kroz lanac snabdevanja. Svrha korišćenja metode planiranja distributivne potražnje je smanjenje zaliha u distributivnoj mreži (Nugroho, 2019). Na nivou prodajnih mesta, zbog rizika od fluktuacije potražnje, za svaki proizvod u svakom od njih kreira se sigurnosna zaliha, izračunata pomoću formula iz klasične teorije upravljanja zalihama (Magdalena i Suli, 2019).

Planiranje potražnje počinje na najnižom nivou (npr. na maloprodajnom mestu) i završava na najvišem nivou (npr. u proizvodnom skladištu). Potrebe na nižem nivou su ulazni podaci za sledeći nivo. Potražnja s najvišeg nivoa može se koristiti kao ulazni podatak za rad na rasporedu proizvodnje (Fertsch, 2006). Potražnja iz distributivnih centara koristi se za izradu



rasporeda potražnje zaliha i prosleđuje se u proizvodnju. Nakon poređenja s prethodnim predviđanjima, razvija se proizvodni plan, materijalni zahtevi i distribucija s rasporedom isporuke pojedinačnim distributivnim centrima (Ngatilah i dr., 2020). Zahvaljujući DRP-u, određuje se nivo usluge za karike lanca snabdevanja koje imaju direktan kontakt s kupcem (veličina serije, dostupnost zaliha, rokovi isporuke) (Fechner, 2007).

DRP sistem omogućava procenu rasporeda isporuke za svaku jedinicu zaliha (SKU) do prodajnih mesta i pri tome zahteva posedovanje sledećih informacija (Mukhsin i Sobirin, 2022):

- struktura distributivnog kanala kroz koji teče SKU,
- predviđanje potražnje za pojedinačnim SKU-ovima na nivou prodajnog mesta,
- trenutni nivo zaliha (zalihe u ruci) danog SKU-a,
- ciljni nivo sigurnosnih zaliha,
- iznos preporučenog popunjavanja,
- vreme dostave za popunjavanje.



DRP algoritam (Ngatilah i dr., 2020):

1. Netiranje – projektovana on-hand zaliha (zaliha u ruci). Može se izračunati pomoću sledeće formule:

$$\text{Projektovano stanje}_{(t)} = (\text{u ruci}_{(t-1)} + \text{Planirani prijem}_{(t)} + \text{Planirani prijem narudžbine}_{(t)} - \text{Bruto potreba}_{(t)})$$

Neto zahtev može se izračunati pomoću formule ispod:

$$\text{Neto potrebe}_{(t)} = (\text{Bruto potrebe}_{(t)} + \text{Sigurnosne zalihe}) - (\text{Planirani primijem}_{(t)} + \text{Projektovano stanje}_{(t-1)})$$

2. Lotiranje je postupak za pronalaženje veličine narudžbine ili proizvodne serije u svakoj mrežnoj distribuciji. Postoji nekoliko metoda lotiranja. Lotiranje u DRP-u prikazano planiranim prijemom narudžbine (engl. *Plan Order Receipt* - Porec). Planirani prijem narudžbine (Porec) je neto potreba koja je prilagođena prema veličini narudžbine ili proizvodnji.



3. Kompenzacija je količina narudžbine koja se planira naručiti u planiranom vremenskom periodu. Kompenzacija u DRP-u predstavljena planiranim izdavanjem narudžbine (engl. Plan Order Release, Porel). Porel je Porec koji je prilagođen u skladu s nalogom za vreme dostave ili proizvodnje.

4. Eksplozija – ukupni trošak zaliha i distribucije može se dobiti koristeći sledeću formulaciju:

$$\text{Ukupni trošak zaliha i distribucije} = \text{trošak naručivanja} + \\ + \text{trošak držanja zaliha} + \text{trošak isporuke}$$

DRP model posebno je koristan u velikim, složenim organizacijama gde je upravljanje protokom proizvoda kroz distributivnu mrežu ključno za operativnu efikasnost i zadovoljstvo kupaca. Snage DRP modela uključuju:

- poboljšana koordinacija u lancu snabdevanja kroz bolji protok informacija i robe od proizvođača do potrošača, što dovodi do učinkovitije distribucije,
- povećana tačnost predviđanja, budući da uzima u obzir stvarne podatke o narudžbini i nivou zaliha u celom lancu, što pomaže optimizaciji nivoa zaliha i smanjenju troškova,
- poboljšana dostupnost proizvoda osiguravanjem da su zalihe smeštene tamo gde su najpotrebnije, čime se smanjuje rizik od nestašica i prekida proizvodnje.

Slabosti DRP modela povezane su sa sledećim elementima:

- složenost implementacije, posebno u velikim organizacijama s razgranatim lancima snabdevanja, što zahteva precizno planiranje i koordinaciju,
- visoki početni troškovi vezani uz kupovinu softvera, hardvera i obuku zaposlenih,
- zavisnost od tačnosti i pravovremenosti ulaznih podataka, netačnosti u podacima mogu dovesti do grešaka u predviđanju i planiranju, što može prouzrokovati prekomerne ili nedovoljne zalihe.

Uprkos svojim prednostima, DRP model zahteva precizno izvršenje i kontinuirano upravljanje kako bi se učinkovito podržale operativne odluke unutar lanca snabdevanja.



EOQ (Ekonomična količina narudžbine, engl. *Economic Order Quantity*) je matematički model koji se koristi za određivanje optimalne količine narudžbine koja minimizira ukupne troškove povezane s naručivanjem i držanjem zaliha. Ova metoda je idealna za proizvode sa stabilnom i predvidivom potražnjom. Metoda podrazumeva sledeće pretpostavke (Battani i dr, 2015):

- mesečna ili godišnja potražnja za naručenim proizvodom je poznata i predvidiva,
- proizvod se isporučuje vrlo brzo nakon narudžbine,
- trošak jedne narudžbine je fiksni.

Wilsonova formula koristi se za izračunavanje ekonomične količine narudžbine (Krzyżaniak, 2005; Muckstadt, 2010).

Formula za izračunavanje EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times C_s}{C_K}}$$

gde:

D – očekivana potražnja u dužem vremenskom periodu,

C_s – trošak naručivanja – kupovina jedne serije, nezavisno od njene veličine,

C_K – trošak držanja jedne jedinice određenog proizvoda na zalihama tokom određenog vremenskog perioda, najčešće definisan kao određeni deo nabavne cene, pa prema tome:

$$C_K = \mu_o \times P$$

P – nabavna cena,

μ_o – procenat troška održavanja u nabavnoj ceni.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$EOQ = SQRT((2 * [očekivana potražnja] * [trošak naručivanja]) / [trošak čuvanja jedne jedinice])$$



EOQ model posebno je koristan u upravljanju zalihama za standardne proizvode sa stabilnom potražnjom. To je analitički alat koji pomaže u donošenju odluka o količinama narudžbina, ali zahteva tačne podatke o troškovima i potražnji. Snage EOQ modela su:

- minimiziranje ukupnih troškova – EOQ identifikuje količinu narudžbine koja optimizira ravnotežu između troškova narudžbine i troškova skladištenja, s ciljem minimiziranja ukupnih troškova povezanih sa zalihama,
- povećana operativna učinkovitost – uspostavljanjem optimalnog rasporeda narudžbina, EOQ model omogućava bolje planiranje i upravljanje resursima, što dovodi do ujednačenijih procesa i manje verovatnosti prekida proizvodnje uzrokovane nedostatkom ili viškom zaliha,
- pojednostavljenje procesa donošenja odluka u upravljanju zalihama – EOQ daje jasne smernice o tome kada i koliko naručiti, što pomaže u standardizaciji procesa nabavke i može smanjiti potrebu za kontinuiranim praćenjem i donošenjem odluka u vezi s nivoma zaliha.

Međutim, EOQ model zahteva usvajanje određenih pretpostavki koje su povezane sa sledećim nedostacima:

- pretpostavka potrebe za stalnom potražnjom – EOQ pretpostavlja da je potražnja za proizvodom konstantna i predvidiva u svakom trenutku; u stvarnosti, potražnja je često promenjiva i pod uticajem sezonalnosti, tržišnih trendova, konkurentskih prodavnica i drugih eksternih faktora, koji tačnu primenu EOQ modela mogu učiniti izazovnom u dinamičnim tržišnim uslovima,
- potreba za pretpostavkom fiksnih troškova naručivanja i držanja – u praksi ti troškovi mogu varirati na osnovu mnogih faktora, kao što su promene u cenama materijala, troškovi transporta, cene najma skladišta, promene stope rada ili inflacija,
- nedostatak fleksibilnosti u odgovoru na promene – EOQ model generiše fiksni broj narudžbina za određeni period i ne predviđa automatska prilagođavanja tržišnim ili operativnim uslovima koji se brzo menjaju; to znači da je potrebno ručno pregledati i prilagoditi EOQ narudžbine kako bi se izbeglo prekomerno nakupljanje zaliha ili rizik od zaliha, što može biti dugotrajno i komplikovano.



S obzirom na ta ograničenja, mnoge kompanije koriste EOQ model kao početnu tačku ili preliminarnu smernicu, dok prilagođavaju svoje strategije upravljanja zalihama kako bi se prilagodile dinamici tržišta i operativnim specifičnostima.

3.5. Korišćenje alata Solver u rešavanju optimizacionih problema

Solver je dodatak za Microsoft Excel koji se koristi za naprednu analizu i rešavanje optimizacionih problema. Korisnicima omogućava definisanje višestrukih varijabli odlučivanja, ograničenja i ciljeva, a zatim koristi različite matematičke metode za pronalaženje optimalnih rešenja (vidi poglavlje Uvod u analizu proračunskih tabela). Posebno je koristan u situacijama koje zahtevaju složene proračune, kao što je planiranje logističkog puta, raspodela resursa ili optimizacija bzdžeta (Bomba i Kwiecień, 2012; Mason, 2013).

Solver se koristi za rešavanje jednokriterijumskih zadataka optimizacije gde broj varijabli odlučivanja ne prelazi 200. Njegova primena zahteva izradu matematičkog modela unutar radnog prostora proračunske tabele. Optimizacioni model sastoji se od tri elementa (Baj-Rogowska, 2013; Mason, 2012):

- ciljne ćelije (ciljna funkcija) – to su ćelije u modelu proračunske tabele koje, kada se primijeni Solver, trebaju minimizirati, maksimizirati ili postaviti na određenu vrednost realnog broja,
- varijabilne ćelije (varijable odluke) – to su ćelije koje sadrže tražene vrednosti, koje se dodatkom Solver iterativno menjaju i supstituišu u funkciju cilja dok se ne pronađe optimalno rešenje,
- ćelije ograničenja (mogu se primeniti na vrednost ćelije cilja i ćelija varijable) – uvedeni uslovi ograničenja u obliku formula unutar ćelija proračunske tabele, gde vrednost mora biti unutar zadanih granica ili doseći ciljane vrednosti.

Solver u Excelu koristi različite metode optimizacije kako bi pronašao najbolja rešenja za definisane probleme. Svaka metoda ima svoje specifične primene i bira se na osnovu prirode problema optimizacije. Solver omogućava korisniku izbor odgovarajuće metode zavisno od



karakteristika problema koji se rešava. Glavne metode uključuju (Baj-Rogowska, 2013; Delgado-Aguilar i dr., 2018):

- Simpleks metodu (Simplex LP) – ovo je najčešće korišćena metoda za rešavanje problema linearnog programiranja (LP); uspešna je u situacijama gde su funkcija cilja i sva ograničenja linearna,
- GRG metodu (Generalisani redukovani gradijent) – to je napredna metoda koja se koristi za rešavanje nelinearnih problema; posebno je korisna kada su ciljna funkcija ili ograničenja nelinearna, ali još uvek kontinuirani i diferencijabilni,
- Evolucionarna metoda – koristi se za rešavanje problema globalne optimizacije, posebno kada je ciljna funkcija složena, nelinearna i diskontinualna; evolucionarna metoda koristi tehnike slične genetskim algoritmima, istražujući različita moguća rešenja kako bi pronašla najbolje,
- Celobrojna ograničenja – Solver se može koristiti za rešavanje problema u kojima neke ili sve varijable odluke moraju imati celobrojne vrednosti; ovo je korisno u situacijama kada rešenja zahtevaju diskretne vrednosti, kao što je broj jedinica za proizvodnju ili broj zaposlenih za raspoređivanje na ra posao.

Solver doprinosi optimizaciji lanca snabdevanja kada postoji potreba za optimizacijom složenih problema, kao što je minimiziranje troškova transporta, optimiziranje planiranja rute isporuke ili upravljanje zalihama. Posebno je koristan u situacijama koje zahtevaju analizu višestrukih varijabli i ograničenja, gde tradicionalne metode mogu biti nedovoljne ili oduzimati previše vremena.

3.6. Optimiziranje korišćenja skladišnog prostora – primer korišćenja alata Solver

Sadržaj zadatka

Kompanija Alfa ima skladište ukupne površine 10.000 m², koje mora primiti tri vrste proizvoda: A, B i C. Svaki od ovih proizvoda ima različite zahteve za skladišnim prostorom, ima svoje specifične sigurnosne zalihe i generiše različitu dobit po jedinici proizvoda:



- proizvod A: zahteva 14 m² po jedinici, sigurnosna zaliha je 40 kom., stvara profit od 30 eura,
- proizvod B: zahteva 12 m² po jedinici, sigurnosna zaliha je 60 kom., stvara profit od 32 eura,
- proizvod C: zahteva 18 m² po jedinici, sigurnosna zaliha je 90 kom., stvara profit od 23 eura.

Proizvodi A, B i C idu na tržišta X, Y i Z. Ukupna potražnja za svim proizvodima na tržištima je:

- tržište X: 220 kom.,
- tržište Y: 230 kom.,
- tržište Z: 332 kom.

Koliko jedinica svakog proizvoda treba držati u skladištu da bi se maksimizirao ukupni profit od korišćenog skladišnog prostora bez prekoračenja ukupno raspoloživog skladišnog prostora, pod pretpostavkom da Alfa zadovoljava svu potražnju?

Rešenje:

Ciljna funkcija: maksimiziranje ukupne dobiti od proizvoda.

Ograničenje: veličina skladišnog prostora, skladišni prostor za jedinicu proizvoda, obim tržišne potražnje.



- [1] priprema liste podataka,
- [2] definisanje varijabli odlučivanja,
- [3] izračunavanje pomoćnih varijabli,
- [4] određivanje funkcije cilja,
- [5] konfiguriranje Solvera,
- [6] indikacija metode optimizacije,
- [7] pokrenite Solver,
- [8] ocena dobijenog rešenja.



Primer u Excelu:

- [1] Pripremiti i popuniti tabelu s ulaznim podacima iz zadatka: sigurnosne zalihe za svaki proizvod, jedinični skladišni prostor, jedinična dobit, potražnja na svakom tržištu, ukupni skladišni prostor

		Market			Safety stock	Unit warehouse space	Profit individual
		X	Y	Z			
Product	A				40	14	30
	B				60	12	32
	C				90	18	23
		220	230	332			

Total warehouse area
10000

- [2] Definišite varijable odluke – broj proizvoda svake vrste na skladištu

		Market			Safety stock	Unit warehouse space	Profit individual
		X	Y	Z			
Product	A				40	14	30
	B				60	12	32
	C				90	18	23
		220	230	332			

Total warehouse area
10000

- [3] Izračunajte pomoćne varijable

- **Broj jedinica na skladištu:** = SUM([raspon ćelija za svako tržište i pojedinačni proizvod])
- **Zauzet skladišni prostor:** = [Jedinica površine Skladište] * [Broj jedinica na skladištu]
- **Dobit za x jedinica:** = [Broj jedinica na skladištu] * [Jedinična dobit]
- **Ostvarena potražnja:** = SUM([raspon ćelija za svako tržište])



- Suma skladišnog prostora: = SUM([Zauzet skladišni prostor])

		Market			Safety stock	Unit warehouse space	Profit individual	Number of units in a warehouse	Occupied warehouse space	Profit for x units
		X	Y	Z						
Product	A				40	14	30	0	0	0
	B				60	12	32	0	0	0
	C				90	18	23	0	0	0
		220	230	332				Total warehouse space	0	
Realized demand		0	0	0						
						Total warehouse area				
						10000				

[4] Odredite ciljnu funkciju - maksimiziranje dobiti od prodaje proizvoda

Ciljna funkcija: =SUM([Dobit za x jedinica])

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

[5] Konfigurirajte Solver

Postavite cilj – ćelija s funkcijom cilja i maksimizacijom funkcije cilja

Set Objective:

To: ☒ Max ☐ Min ☐ Value Of:

Označite ćelije čije vrednosti želite postaviti – broj proizvoda svake vrste na skladištu

By Changing Variable Cells:

Dodajte ograničenja:

- zauzeti skladišni prostor = maksimalni skladišni prostor

Cell Reference: Constraint:



- ostvarena potražnja na tržištu X $\leq$ potražnja na tržištu X

		Market			Safety stock	Unit warehouse space	Profit individual
		X	Y	Z			
Product	A	0	0	0	40	14	30
	B	0	0	0	60	12	22
	C	0	0	0	80	10	18
		220	200	250			
Realized demand		0	0	0			

- ostvarena potražnja na tržištu Y $\leq$ potražnja na tržištu Y
- ostvarena potražnja na tržištu Z $\leq$ potražnja na tržištu Z
- broj jedinica proizvoda A na zalihi $\geq$ sigurnosna zaliha za proizvod A

Safety stock	Unit warehouse space	Profit individual	Number of units in a warehouse
40	14	30	0
60	12	22	0
80	10	18	0

- broj jedinica proizvoda B na zalihi $\geq$ sigurnosna zaliha za proizvod B
- broj jedinica proizvoda C na zalihi $\geq$ sigurnosna zaliha za proizvod C

[6] Navedite metodu optimizacije – npr. LP Simplex

Select a Solving Method:

[7] Pokreni Solver – pritisnite naredbu Rešavanje

[8] Procenite rešenje koje ste dobili



		Market			Safety stock	Unit warehouse space	Profit individual	Number of units in a warehouse	Occupied warehouse space	Profit for x units
		X	Y	Z						
Product	A	0	0	40	40	14	30	40	560	1200
	B	220	140	292	60	12	32	652	7820	20853
	C	0	90	0	90	18	23	90	1620	2070
		220	230	332				Total warehouse space	10000	
Realized demand		220	230	332						

Total warehouse area	10000
----------------------	-------

Objective function - maximum profit:	24123
--------------------------------------	-------

Pitanja poglavlja

1. Kako dodatak Solver u Microsoft Excelu može podržati procese donošenja odluka u preduzeću?
2. Kako izbor odgovarajuće metode optimizacije utiče na rezultate analize?

LITERATURA

Antoniuk, I., Svitek, R., Krajčovič, M., i Furmannová, B. (2021). Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0. *Transportation Research Procedia*, 55, 503-509.

Baj-Rogowska, A. (2013). Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver, jako zadanie logistyczne w małej firmie. *Optymalizacja systemów i procesów logistycznych*, 169-178.

Battini, D., Persona, A., i Sgarbossa, F. (2014). A sustainable EOQ model: Theoretical formulation and applications. *International Journal of Production Economics*, 149, 145-153.

Bomba, I., i Kwiecień, K. (2012). Zastosowanie dodatku SOLVER aplikacji MS Excel w projektowaniu jednostki paletowej. *TTS Technika Transportu Szynowego*, 19.

Cyplik, P., i Hadaś, Ł. (2012). Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

Delgado-Aguilar, M., Valverde-Som, L., i Cuadros-Rodríguez, L. (2018). Solver, an Excel application to solve the difficulty in applying different univariate linear regression methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 178, 39-46.

Dudziński, Z., i Kizyn, M. (2002). *Vademecum gospodarki magazynowej*. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr.



- Fechner, I. (2007). Zarządzanie łańcuchem dostaw. Poznań: Wyższa Szkoła Logistyki.
- Fertsch, M. (ed). (2006). Słownik terminologii logistycznej. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Ghiani, G. (2004). Introduction to Logistics Systems Planning and Control. Chichester: John Wiley i Sons Ltd.
- Gu, J., Goetschalckx, M., i McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. European journal of operational research, 177(1), 1-21.
- Gupta, P., Mehlawat, M. K., Aggarwal, U., i Khan, A. Z. (2022). An optimization model for a sustainable and socially beneficial four-stage supply chain. Information Sciences, 594, 371-399.
- Hariga, M.A., i Jackson, P.L. (1996). The warehouse scheduling problem: Formulation and algorithms. IIE Transactions 28, 115-127.
- Jayarathna, C. P, Agdas, D., Dawes, L., i Yigitcanlar, T. (2021). Multi-objective optimization for sustainable supply chain and logistics: A review. Sustainability, 13(24), 13617.
- Kisielewski, P, i Talarek, P. (2020). Optymalizacja procesu magazynowania wysokoskładowego. (ed) Sosnowski Z. Symulacje komputerowe w badaniach i rozwoju. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok. DOI: 10.24427/978-83-66391-28-4_11
- Krzyżaniak, S. (2005). Podstawy zarządzania zapasami w przykładach (Wydanie III). Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Krzyżaniak, S. (2006). Lokalizacja zapasów w sieci dystrybucji. LogForum, 2(1), 2.
- Kusiak, J., Danielewska-Tułęcka, A., i Oprocha, P. (2021). Optymalizacja. Wybrane metody z przykładami zastosowań. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Magdalena, R., i Suli, T. (2019). Forecasting Methods and Implementation of DRP (Distribution Requirement Planning) Methods in Determining the Master Production Schedule. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 528(1).
- Masclé, C., i Gosse, J. (2014). Inventory management maximization based on sales forecast: case study. Production Planning i Control, 25(12), 1039-1057.



- Mason, A. J. (2012). OpenSolver-an open source add-in to solve linear and integer programmes in Excel. In Operations Research Proceedings 2011: Selected Papers of the International Conference on Operations Research (OR 2011), August 30-September 2, 2011, Zurich, Switzerland (401-406). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mason, A.J. (2013). SolverStudio: A new tool for better optimisation and simulation modelling in Excel. *INFORMS Transactions on Education*, 14(1), 45-52.
- Miszewski, P. (2019). Rola nowoczesnych rozwiązań technologicznych w optymalizacji pracy współczesnego magazynu. *Journal of TransLogistics*, 5(1), 175-182.
- Muckstadt, J.A., Sapra, A., Muckstadt, J.A., i Sapra, A. (2010). EOQ model. *Principles of Inventory Management: When You Are down to Four, Order More*, 17-45.
- Mukhsin, M., i Sobirin, M.T. (2022). Scheduling Process Analysis Distribution of Product Using the Distribution Requirement Planning (DRP) Method. *AFEBI Management and Business Review*, 7(2), 78-89.
- Muller, M. (2019). *Essentials of inventory management*. HarperCollins Leadership.
- Ngatilah, Y., Rahmawati, N., Pujiastuti, C., Porwati, I., i Hutagalung, A.Y. (2020). Inventory control system using distribution requirement planning (drp)(case study: Food company). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1569, No. 3, p. 032005). IOP Publishing.
- Nugroho, M., Elianto, M.S.D., i Nurcahyo, Y.E. (2019). Planning and Implementation Enterprise Resource Planning Module Distribution Management Using the Methods of Distribution Requirement Planning in MSMEs UD Adhi Teknik. *International Review of Management and Marketing*, 9(6), 179.
- Ramaa, A., Subramanya, K.N., i Rangaswamy, T.M. (2012). Impact of warehouse management system in a supply chain. *International Journal of Computer Applications*, 54(1).
- Reszka, L. (2012). Koniunkcja logistyki i optymalizacji. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie*, 39, 109-118.
- Silva, C.A., Sousa, J. M. C., Runkler, T., i Palm, R. (2005). Soft computing optimization methods applied to logistic processes. *International Journal of Approximate Reasoning*, 40(3), 280-301.



Smyk, S. (2023). Optymalizacja jako wyzwanie dla menedżerów ds. logistyki. Gospodarka Materiałowa i Logistyka.