



BUSINESS ANALYTICS SKILLS FOR THE FUTURE-PROOF SUPPLY CHAINS

NAPREDNO KORIŠTENJE PRORAČUNSKE TABLICE ZA ANALIZU LOGISTIČKIH PODATAKA – TEORIJSKI UVOD

Autori:

Katarzyna Grzybowska

Katarzyna Ragin-Skorecka

Katarzyna Siemieniak

Piotr Cyplik

Michał Adamczak

Jędrzej Jankowski-Guzy

Adrianna Toboła-Walaszczyk



Katarzyna Grzybowska, Katarzyna Ragin -Skorecka, Katarzyna Siemieniak, Piotr Cyplik,
Michał Adamczak, Jędrzej Jankowski-Guzy, Adrianna Toboła -Walaszczyk

NAPREDNO KORIŠTENJE PRORAČUNSKE TABLICE ZA ANALIZU LOGISTIČKIH PODATAKA - TEORIJSKI UVOD

Poznanj, 2025.



Izdavač:

Wyższa Szkoła Logistyki
Estkowskiego 6
61-755 Poznań, POLSKA
www.wsl.com.pl

Uredništvo :

Stanisław Krzyżaniak (predsjednik), Ireneusz Fechner, Marek Fertsch, Aleksander Niemczyk,
Bogusław Śliwczyński, Ryszard Świekatowski, Kamila Janiszewska

ISBN 978-83-62285-62-4 (online)

Autorska prava © Wyższa Szkoła Logistyki

Poznań 2025, izdanje I

Recenzenti:

- prof. Agnieszka Tubis, University of Science and Technology, Wrocław, Poljska
- prof. Maciej Urbaniak, University of Lodzu, Łódź, Poljska

Prijevod: prof.dr.sc. Davor Dujak

Tehnički urednik: Katarzyna Grzybowska, Poznań University of Technology, Poznań, Poljska

Dizajn naslovnice: Michał Adamczak, Poznań School of Logistics, Poznań, Poljska

Knjiga je napisana u sklopu projekta *Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains* (BAS4SC) [2022-1-PL01-KA220-HED-000088856] financiranog od strane ERASMUS+ programa.

Financirano sredstvima Europske unije.

Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Nacionalne agencije (NA). Ni Europska unija ni NA ne mogu se smatrati odgovornima za njih..



Predgovor

Funkcioniranje modernih opskrbnih lanaca nije moguće bez informatičke podrške. Razvoj digitalnih tehnologija omogućuje tvrtkama da kontinuirano prate i unapređuju implementirane procese. Suvremeni IT sustavi omogućuju prikupljanje i pohranjivanje podataka, što posljedično pruža gotovo neograničene mogućnosti za njihovu analizu. Uvažavajući razvoj visoko specijaliziranih analitičkih alata, po našem mišljenju ne možemo zaboraviti proračunske tablice kao najpristupačnije analitičke alate.

Sadržaj predstavljen u ovoj knjizi razvijen je na temelju rezultata istraživanja provedenog u sklopu projekta *Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains* (BAS4SC). Tekst predstavlja teorijski uvod u metode analize i optimizacije procesa koji se provode unutar opskrbnih lanaca. Knjiga, zajedno s nastavnim materijalima također razvijenim u projektu BAS4SC, čini cjelinu koja omogućuje stjecanje znanja i vještina korištenja analitičkih metoda i alata u obliku proračunske tablice za tu svrhu.

Nadamo se da će ova knjiga, koja predstavlja teorijski uvod u analizu i optimizaciju opskrbnih lanaca pomoću proračunske tablice, biti važan izvor znanja i inspiracije za razvoj analiza i poboljšanje logističkih procesa.

Katarzyna Grzybowska
Katarzyna Ragin -Skorecka
Katarzyna Siemieniak
Piotr Cyplik
Michał Adamczak
Jędrzej Jankowski-Guzy
Adrianna Toboła-Walaszczyk



Sadržaj

Predgovor	3
UVOD	8
1. UVOD U ANALIZU PRORAČUNSKIH TABLICA	11
1.1. Uvod	11
1.2. Analiza podataka	12
1.3. MS Excel Spreadsheet i njegova primjena	13
1.4. Najvažniji alati koje pružaju proračunske tablice	15
PITANJA POGLAVLJA	25
LITERATURA	26
2. METODE VIZUALIZACIJE PODATAKA	27
2.1. Uvod	27
2.2. Metode vizualizacije podataka	28
2.3. Vrste usporednih grafikona	39
PITANJA POGLAVLJA	40
LITERATURA	40
3. OPTIMIZACIJA U UPRAVLJANJU OPSKRBNIM LANCEM	42
3.1. Uvod	42
3.2. Uloga skladišta u opskrbnom lancu	44
3.3. Određivanje skladišnog prostora	45
3.4. Odabrane metode upravljanja zalihama u opskrbnom lancu	52
3.5. Korištenje alata Solver u rješavanju optimizacijskih problema	63
3.6. Optimiziranje korištenja skladišnog prostora – primjer korištenja alata Solver	65



PITANJA POGLAVLJA	70
LITERATURA.....	70
4. KONTROLING U UPRAVLJANJU OPSKRBNIM LANCEM	74
4.1. Uvod.....	74
4.2. Ključni pokazatelji uspješnosti u opskrbnom lancu.....	77
PITANJA POGLAVLJA	82
LITERATURA.....	82
5. ANALITIKA U PODRUČJU NABAVE I KUPOVINE	84
5.1. Uvod.....	84
5.2. Strategije nabave i kupnje – podjela prema izvorima nabave	86
5.3. Metode ocjenjivanja i odabira dobavljača	88
5.4. Kriteriji ocjenjivanja dobavljača	89
5.5. Metoda ponderirane točke	92
5.6. Višekriterijska metoda	97
5.7. Otporni dobavljači	104
PITANJA POGLAVLJA	106
LITERATURA.....	106
6. OUTSOURCING.....	109
6.1. Uvod.....	109
6.2. Temelj outsourcinga	110
6.3. Osnovne vrste outsourcinga	112
6.4. Prednosti i rizici korištenja outsourcinga u suvremenim poduzećima	114
6.5. Napravi ili kupi analiza	118
6.6. Outsourcing u logistici	128



PITANJA POGLAVLJA	131
LITERATURA.....	131
7. OPTIMIZACIJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE POMOĆU GRAVITACIJSKE TOČKE.....	134
7.1. Uvod.....	134
7.2. Logistička mreža	135
7.3. Koncept korištenja gravitacijskog modela u logističkoj mreži	137
7.4. Tipični proces donošenja odluka o lokaciji objekta u opskrbnom lancu	139
7.5. Dezagregirani i agregirani modeli gravitacije.....	140
7.6. Model uravnotežene gravitacije	141
7.7. Gravitacijski model u međunarodnoj trgovini	143
7.8. Gravitacijski model lociranja konkurentskih objekata	145
7.9. Gravitacijski model za interkontinentalni opskrbeni lanac.....	146
PITANJA POGLAVLJA	146
LITERATURA.....	147
8. PREDVIĐANJE POTRAŽNJE	149
8.1. Uvod.....	149
8.2. Klasifikacija metoda predviđanja.....	154
8.3. Predviđanje vremenskih serija	155
8.4. Dekompozicija vremenskih serija	156
8.5. Priprema vremenskih serija podataka.....	158
8.6. Metode predviđanja vremenskih serija	161
8.7. Pogreške prognoze.....	181
8.8. Prednosti predviđanja u Excelu.....	182
8.9. Umjetna inteligencija u predviđanju.....	184



PITANJA POGLAVLJA	186
LITERATURA.....	186
9. UPRAVLJANJE ZALIHAMA	190
9.1. Uvod.....	190
9.2. Razina korisničke usluge	192
9.3. Funkcije i vrste zaliha	196
9.4. Osnovni sustavi nadopune	203
9.5. Troškovi zaliha	206
9.6. Osnovni modeli klasifikacije zaliha	212
PITANJA POGLAVLJA	217
LITERATURA.....	217
10. OPTIMIZACIJA TRANSPORTA.....	221
10.1. Uvod	221
10.2. Priroda i značaj optimizacije prometnog sustava	222
10.3. Problemi optimizacije transporta u praksi	227
PITANJA POGLAVLJA	242
LITERATURA.....	243
POPIS TABLICA	247
POPIS SLIKA.....	248



UVOD

Knjiga *Napredno korištenje proračunske tablice za analizu logističkih podataka – teorijski uvod* prva je u seriji od tri knjige nastale u sklopu projekta *Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains* (BAS4SC) sufinanciranog iz programa ERASMUS+. Ova se knjiga može koristiti kao akademski priručnik za razvoj analitičkih znanja i vještina u području logistike. Njegov sadržaj nastao je na temelju istraživanja provedenog u sklopu projekta BAS4SC. Identifikacija i odabir sadržaja koji bi trebao biti uključen u takav udžbenik proveden je u tri faze. U prvoj fazi istraživanja analizirani su obrazovni programi iz područja poslovne analitike koji se provode na sveučilištima u Europi i Sjevernoj Americi. Analizirani su obrazovni programi 66 sveučilišta. Iz njih su odabrane ključne kompetencije koje trebaju imati poslovni analitičari, posebice oni koji obavljaju svoje poslove u području logistike. U drugoj etapi provedena su ankete među predstavnicima gospodarstva (s posebnim naglaskom na logistička, proizvodna i trgovačka poduzeća), nastavnicima i studentima, čiji je cilj bio, prvo, utvrditi stupanj značaja kompetencija izdvojenih u prvom stupnju studija za suvremeno poslovanje te, drugo, utvrditi jesu li te kompetencije već uključene u obrazovne učinke programa koji se provode na sveučilištima. Rezultati prve dvije faze istraživanja omogućili su naznaku analitičkih kompetencija koje su ključne sa stajališta poslovne prakse. Na taj način izdvojeno je preko 100 ključnih kompetencija. U trećoj fazi istraživanja te su kompetencije sistematizirane i klasificirane, a prema mišljenju stručnjaka izdvojene su 33 najvažnije. Zahvaljujući tome, bilo je moguće kreirati tri obrazovna programa. Prvi od njih je: *Napredno korištenje proračunske tablice za analizu logističkih podataka*.

Ova je knjiga teorijski uvod u pitanja vezana uz metode i tehnike analize podataka koje se mogu implementirati korištenjem proračunske tablice. Sadržaj priručnika dopunjen je nastavnim materijalima također razvijenim u sklopu projekta *Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains*, koji predstavlja praktične aspekte izvođenja pojedinačnih analiza u jednoj od najpopularnijih proračunskih tablica. Podjela sadržaja na teoretski i praktični također proizlazi iz činjenice da se funkcionalnosti proračunskih tablica mijenjaju vrlo dinamično kroz vrijeme. Provedbom nastavnih programa želimo ponuditi suvremena rješenja



u obliku datoteka dostupnih polaznicima obrazovnih programa. Najnovije verzije nastavnih materijala i datoteka za vježbe dostupne su na: enauka.put.poznan.pl.

Knjiga je podijeljena u 10 poglavlja, od kojih svako predstavlja odabrani aspekt funkcioniranja opskrbnog lanca i moguće analitičke metode koje se unutar njega mogu koristiti. Prvo poglavlje posvećeno je uvodnim pitanjima. Opisuje suvremeni način sagledavanja važnosti prikupljanja i analize podataka za funkcioniranje logističkih procesa. Također predstavlja proračunske tablice kao alat s mnogo funkcija koji se može koristiti u poslovanju, a posebno u logistici.

U drugom poglavlju predstavljene su metode vizualizacije podataka pomoću grafikona i upravljačkih nadzornih ploča. Autori iznose ne samo vrste grafikona, već i preporuke za korištenje pojedinačnih grafikona za prikaz podataka specifične prirode. Ovo je pitanje osobito važno pri analizi velikih skupova podataka kada ih je potrebno predstaviti na način koji je s jedne strane pojednostavljen, a s druge strane odražava informacije sadržane u njima.

Treće poglavlje posvećeno je problematici optimizacije kao teorijskog pojma i primjeni ovih metoda u području upravljanja skladištima i zalihama. Prikazane su metode optimizacije i teorijske osnove problematike planiranja skladišnog prostora i odnosa između veličine zaliha i potražnje za skladišnim prostorom.

Četvrto poglavlje opisuje koncept kontrolinga opskrbnog lanca. Prikazan je opseg kontrolinga u području logistike. Koncept učinkovitosti također se navodi kao jedan od ključnih u optimizaciji procesa opskrbnog lanca. Opis je obogaćen mjerama performansi i pokazateljima koji se koriste u području logistike.

Peto poglavlje posvećeno je pitanjima vezanim uz analitiku u području nabave i kupnje. Nakon teorijskog uvoda u funkcioniranje nabave i kupnje u opskrbnim lancima, prikazane su metode ocjenjivanja i odabira dobavljača. Fokus je na najpopularnijim metodama: ponderirana (dopunjena grafičkim ilustracijama) i AHP.

Šesto poglavlje posvećeno je pitanjima vezanim uz outsourcing. Prikazana je ideja outsourcinga, njegove prednosti i nedostaci. Outsourcing je predstavljen kao jedna od metoda koja omogućuje optimizaciju troškova logističkih procesa u poduzeću. S analitičkog gledišta



opisana je metoda *Make or Buy* koja omogućuje objektivan pokazatelj hoće li outsourcing smanjiti troškove implementacije odabranog logističkog procesa.

Sedmo poglavlje fokusirano je na optimizaciju logističke mreže, posebno na lokaciju čvorova ove mreže. Opisuje se utjecaj smještaja skladišta u distribucijskoj mreži ili proizvodnih pogona na funkcioniranje mreže i s tim povezani troškovi. Prikazana je metoda težišta kao temeljna metoda za optimizaciju položaja mrežnih čvorova.

Predmet osmog poglavlja je predviđanje, a posebno metode predviđanja temeljene na vremenskim serijama. Navedene su metode izračunavanja prognoza korištenjem prosječnih metoda (jednostavne, aritmetičke, pokretne i ponderirane), eksponencijalnog izgladivanja i regresije. Poglavlje je dopunjeno naznakom korištenja umjetne inteligencije u predviđanju.

Deveto poglavlje u potpunosti je posvećeno problematici zaliha u poduzeću. Prikazana su teorijska pitanja i metode izračuna koje se koriste u procjeni troškova vezanih uz zalihe, te vrijednosti parametara sustava nadopunjavanja zaliha ovisno o planiranoj razini usluge kupcima.

Posljednje poglavlje priručnika posvećeno je optimizaciji transporta. Ovo je posebno važno pitanje s mnogo dimenzija mogućeg poboljšanja. Raspon metoda optimizacije je vrlo širok. S tim u vezi, autori su odlučili prikazati matematičke modele za optimizaciju vremena izvršenja transporta i broja prijeđenih kilometara, kao i metode traženja najboljeg rješenja unutar tih modela pomoću Solvera.



1. UVOD U ANALIZU PRORAČUNSKIH TABLICA



Ovo poglavlje posvećeno je najvažnijim pitanjima vezanim uz analizu podataka pomoću Excel proračunske tablice, koja se također može koristiti za analizu logističkih podataka. Sadrži :

- osnovne definicije,
- analiza podataka,
- važnost podataka za logistiku,
- proračunska tablica i njezinu primjenu.

1.1. Uvod

Analiza i upravljanje informacijama u poduzeću obuhvaća sve organizacijske jedinice na različitim razinama gospodarskog sustava (operativno, taktičko, strateško), kao i upravljanje znanjem. Analiza i upravljanje podacima uključuje sljedeće aktivnosti (Szymonik, 2010):

- koje čine informacijsku funkciju poduzeća, tj. prikupljanje, pohranjivanje, obrada, dijeljenje i korištenje informacija,
- unutar planova (tehnoški, organizacijski, ljudski resursi) koji utječu na provedbu ove funkcije.

Jamstvo uspjeha svakog pothvata je postizanje informacijske prednosti, definirane kao sposobnost prikupljanja, obrade i širenja informacija, koje će omogućiti, primjerice, dominaciju nad konkurencijom ili poboljšanje logističkog procesa. Informacijska prednost može se steći, između ostalog, na sljedeći način: ispunjavanjem očekivanja specifičnih korisnika, npr. sudionika u opskrbnom lancu, pružanjem kvalitativnih karakteristika informacija iz kojih se može razmjenjivati (Szymonik, 2015):



- relativnost – informacija zadovoljava potrebe i važna je za primatelja,
- točnost – informacija je primjerena razini znanja koju predstavlja primatelj, precizno i egzaktno odražava i definira temu,
- ažuriranost – ciklus ažuriranja je u skladu sa sadržajem i tempom promjena,
- cjelovitost – informacija sadrži optimalnu i dovoljnu količinu podataka za transformaciju informacije u konkretno znanje, a njezina detaljnost ovisi o potrebama primatelja,
- konzistentnost – pojedini podaci međusobno su usklađeni, forma odgovara sadržaju, ažurnost podataka je u skladu s ciljevima,
- primjerenost – primjeren prikaz informacija i opis za prikaz, koji omogućuje ispravno tumačenje,
- dostupnost – informacije su dostupne s bilo kojeg mjesta i u bilo koje vrijeme,
- vjerodostojnost – informacija potvrđuje istinitost podataka i sadrži elemente koji osiguravaju pouzdanost poruke,
- podudarnost – informacija je u skladu s drugom informacijom, interpretirana u odgovarajućem kontekstu, funkcionira u poznatom komunikacijskom sustavu.

1.2. Analiza podataka



Podaci su prikaz sirovih, nestrukturiranih činjenica, koncepata, uputa ili rezultata prikupljenih opažanjima ili zapisima o pojavama, objektima ili ljudima koji se mogu modelirati i oblikovati kako bi se stvorile informacije u obliku koji se može komunicirati, tumačiti, izvoditi, zaključivati ili obraditi od strane ljudi ili automatskih uređaja.

Analiza podataka je proces ispitivanja, tumačenja i prezentiranja informacija prikupljenih iz različitih izvora. Koristeći razne tehnike i alate, podatkovni znanstvenici pretvaraju sirove podatke u korisne informacije koje pomažu poduzećima u donošenju odluka, prepoznavanju trendova i rješavanju problema. U današnjem svijetu, u kojem tvrtke generiraju ogromne količine podataka, učenje analize podataka postaje sve važnije, a ta vještina postaje



sve poželjnija na tržištu rada (www_1.1). Analitika podataka ključni je proces u znanosti i poslovanju za pretvaranje sirovih podataka u korisne i vrijedne informacije pomoću različitih metoda i analitičkih tehnika.

Korištenje suvremenih analitičkih tehnika u logistici omogućuje pretvaranje podataka u vrijedne resurse, podržavajući inovacije i razvoj poslovne inteligencije, što je ključni element modernog poslovnog pristupa (Zhang i Shao, 2020; www_1.2).

U kontekstu logistike i opskrbnog lanca, ključni izazovi u upravljanju ovim podacima spadaju u tri glavna područja. Prvo, tu je problem predobrade i kompresije podataka. Drugo, upravljanje logističkim podacima suočava se s poteškoćama zbog rascjepkanosti tvrtki u opskrbenj mreži, kao što su nedostajući podaci ili prekidi u mrežnoj opremi, što povećava rizik i za dobavljače i za kupce. Treće, postoji nedovoljna razina sofisticiranosti u analizi podataka i podršci odlučivanju. Nedostaci u tehnologiji modeliranja, metodama rudarenja podataka i sustavima za podršku odlučivanju ograničavaju mogućnost pružanja vrijednih informacija za logističke operacije.

1.3. MS Excel Spreadsheet i njegova primjena

Excel je jedan od najčešće korištenih programa na računalima poduzeća jer se u njemu priprema većina korporativnih izvješća. Osim toga, mnogi sustavi tvrtki izvoze podatke u formate koji su kompatibilni s Excelom, što olakšava organiziranje i pregled informacija na jasan i strukturiran način. S programskim jezikom VBA, koji je sastavni dio Excela, program dobiva još veće mogućnosti primjene, poput automatizacije rutinskih zadataka, izrade naprednijih alata ili razvoja funkcija. VBA je ključni alat za automatizaciju proračunskih tablica, koji omogućuje stvaranje makronaredbi za zadatke koji se ponavljaju i integraciju s drugim elementima Microsoft Officea, kao i s programima kao što je AutoCAD (Shinsato Jr i dr., 2023). Excel Spreadsheet je program za proračunske tablice u skupini aplikacija Microsoft Office. MS Excel nudi značajke kao što su izračuni, alati za crtanje dijagrama, zaokretne tablice (tzv. pivot tablice) i programski jezik makronaredbi pod nazivom Visual Basic for Applications. Također nudi skup funkcija statističke analize i druge alate koji se mogu koristiti za pokretanje deskriptivne statistike i izvođenje nekoliko različitih statističkih testova.



Proračunska tablica je računalni program koji se koristi za izvođenje raznih vrsta izračuna, često vrlo složenih. U proračunskim tablicama podatke, uglavnom numeričke, možemo prikazati u obliku skupa tablica koje omogućuju automatsku obradu tih podataka, njihovu analizu i prezentaciju na različite načine, npr. u obliku raznih vrsta grafikona, od jednostavnih linijskih grafikona, preko tortnih i stupčastih grafikona, do atraktivnih mjehurićastih grafikona. Najvažnije mogućnosti koje proračunske tablice pružaju korisniku su (www_1.2): (1) analiza podataka, (2) izvođenje izračuna, (3) priprema ponuda, (4) prezentacija rezultata, (5) izrada grafikona, (6) izrada izvješća i sažetaka.

U svaku ćeliju proračunske tablice možete unijeti numeričke podatke, tekstualne podatke ili formulu na listu koja se naziva **formula**, što vam omogućuje izračunavanje zadane vrijednosti na temelju sadržaja ćelija. U sadržaj ćelije može se uključiti **adrese** tih ćelija, matematičke simbole i naprednije operacije poput **funkcija** – ne samo matematičkih, već i statističkih, financijskih, datuma i vremena ili funkcija baze podataka, što su najvažniji i najčešće korišteni alati koje proračunska tablica pruža. S druge strane, funkcija u proračunskoj tablici je algoritam koji su posebno osmislili **kreatori** programa, formule spremne za korištenje koje omogućuju specijalizirane izračune ili traženje specifičnih vrijednosti. Primjeri uključuju funkciju Average, koja izračunava aritmetičku sredinu zadanih brojeva, ili funkciju Maximum, koja traži najveći od zadanih brojeva, i mnoge druge. Uz pomoć ovih funkcija, podaci uneseni u program automatski se obrađuju i mogu se koristiti za izradu simulacija. Formule u radnom listu izgrađene su pomoću standardnih pravila za stvaranje matematičkih izraza. Ispred unosa formule uvijek treba stajati znak jednakosti, npr. $=A8+C11$ ili $=(F14-E10)*12$ itd. Formule se koriste za izračunavanje i analizu podataka u proračunskoj tablici. Ako se broj u formuli promijeni, program će automatski izvršiti promjene i prikazati točan rezultat. Na ovaj način ne morate sve mijenjati ručno. Dobre proračunske tablice, kao što je Excel, na primjer, imaju ugrađene gotove funkcije (www_1.2).

Superiornost proračunskih tablica u odnosu na druge vrste softvera također leži uvelike u mogućnosti izvođenja vrlo velikog broja izračuna s puno podataka, bez potrebe za ručnom potvrđivanjem svake pojedinačne akcije. Ovako automatizirano izvođenje kalkulacija znatno skraćuje radno vrijeme i zahtijeva neusporedivo manje truda zaposlenika.



Osim toga, kao što je već spomenuto, proračunske tablice omogućuju ilustriranje prikupljenih podataka i rezultata izračuna na način koji je jasan i privlačan primatelju, kao što su različite vrste grafikona i dijagrama. Sofisticirani programi za proračunske tablice mogu generirati mnogo različitih vrsta grafikona, koji se mogu koristiti u statističke svrhe, optimizaciju određenog procesa ili vizualizaciju promjena koje treba provesti u organizaciji. Zbog toga se vrlo često koriste u raznim vrstama prezentacija planiranih projekata, gdje se koriste za prikaz postignutih rezultata ili predviđanja za budućnost. I grafikoni i zaokretne tablice olakšavaju uvid u međuovisnosti i trendove, a time i bolje određivanje učinkovitosti pojedinih aktivnosti ili alata (www_1.2).

Proračunske tablice često se koriste kao višenamjenski alat za unos, pohranu, analizu i vizualizaciju podataka. Većina softvera za proračunske tablice omogućuje korisnicima obavljanje svih ovih zadataka, ali proračunske tablice su najprikladnije za unos i pohranu podataka, dok bi analizu i vizualizaciju trebalo raditi odvojeno. Analiza i vizualizacija podataka u zasebnom programu ili barem u zasebnoj kopiji podatkovne datoteke smanjuje rizik od kontaminacije ili uništenja neobrađenih podataka u proračunskoj tablici (Broman i Woo, 2018).

1.4. Najvažniji alati koje pružaju proračunske tablice

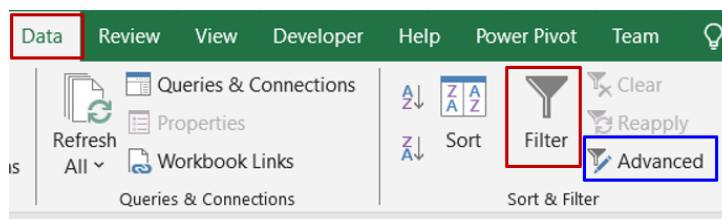
Proračunska tablica nudi širok raspon alata koji se mogu koristiti za analizu logističkih podataka i drugih vrsta podataka. Među alatima koje nudi proračunska tablica MS Excel treba spomenuti sljedeće:

- filtriranje podataka,
- sortiranje podataka,
- funkcije statističke analize,
- alat za analizu linearne regresije,
- korelacijski dijagram,
- zaokretne tablice,
- rješavač (Solver),
- makronaredbe,



- Power Query,
- 3D karte.

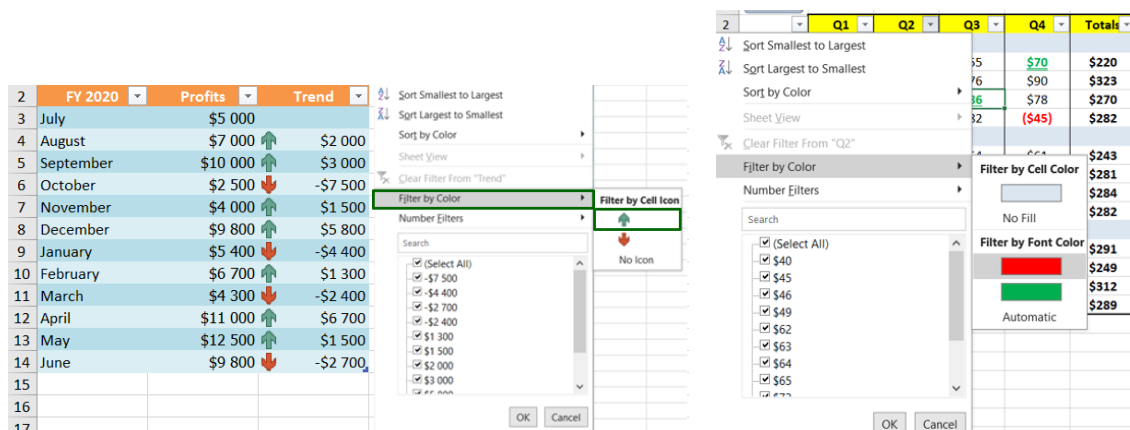
Prikupljanje informacija često uključuje velike skupove podataka, koje karakterizira redundantnost. Prije nego što se može provesti bilo kakva daljnja analiza, iz baze podataka potrebno je izdvojiti samo one podatke koji zadovoljavaju specifične kriterije, prilagođene informacijskim potrebama donositelja odluka. U Excelu su dostupne dvije metode filtriranja koje se nalaze na vrpri Podaci (engl. *Data*) i prikazani su na slici 1.1: autofilter (naredba Filter) i Napredni filter (naredba Napredno, engl. *Advanced*).



Slika 1. 1. Pogled na vrpce podataka s naredbama filtera

Izvor: vlastita studija

Filtriranje podataka prema formatu (autofilter, opcija Filtriranje po boji) omogućuje odabir vrijednosti s određenom bojom fonta, bojom ispune ćelije ili koje sadrže određenu ikonu ćelije, umetnutu putem uvjetnog oblikovanja (Sl. 1.2).



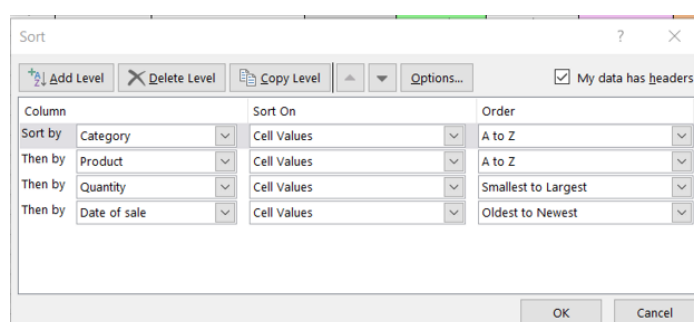
Slika 1. 2. Primjer primjene autofiltera po formatu (po ikonama ćelija i boji fonta)

Izvor: vlastita studija



Ako je potrebno definirati više kriterija, treba koristiti napredni filter. Prilikom primjene naprednog filtra mora se definirati tzv. kriterij filtra.

Pri radu s bazama podataka često postoji potreba za organiziranjem podataka određenim redoslijedom prema kriterijima koje definira korisnik. Ovaj proces se može postići **sortiranjem**. Najjednostavniji oblik sortiranja je jednostavno sortiranje, odnosno po jednom kriteriju. Također postoji mogućnost sortiranja na više razina, pri čemu se baza podataka sortira prema dva ili više kriterija (slika 1.3).



Slika 1. 3. Prikaz prozora Sortiranje s postavljenim kriterijima za višerazinsko sortiranje

Izvor: vlastita studija

Procjena značenja skupova podataka može biti teška, osobito kako se količina podataka povećava. Probirati kroz redove neobrađenih podataka u proračunskim tablicama može biti praktički nemoguće uz bilo kakvu nadu da ćete vidjeti dublje značenje. Numerički sažeci mogu biti od pomoći, ali još uvijek mogu biti neadekvatni. Pretvaranje ovih numeričkih sažetaka u zaokretne tablice i zaokretne grafikone često ih može učiniti razumljivijima s izvrsnim izgledom i vizualnim prikazom.

Excel korisnicima daje mogućnost izrade zaokretnih tablica i povezanih zaokretnih grafikona. Ovi korisni alati pridonose automatizaciji procesa analize podataka i dopuštaju gotovo trenutne promjene u obrascima u kojima su podaci organizirani, kao i u dijelovima podataka koji se pregledavaju. Izvješća koja zadovoljavaju sve potrebe mogu se trenutno generirati kako bi se odgovorilo na pitanja koja se pojave u vezi s podacima. Zaokretne tablice omogućuju isticanje pojedinačnih podatkovnih točaka radi trenutne usporedbe s drugim točkama, omogućujući jednostavnu usporedbu mnogih različitih varijabli.



Pivot ili zaokretne tablice su analitički alat u kojem, kao što naziv govori, možete slobodno preuređivati informacije sadržane u njima. Korištenjem zaokretne tablice možete slobodno redizajnirati retke i stupce kako bi rezultirajući oblik tablice bio jasniji ili jasnije označavao određene podatke koje korisnik želi istaknuti. Poznavanje ove funkcije proračunske tablice neophodno je pri izradi sažetaka i izvješća (www_1. 2). Sa zaokretnom tablicom moguće je obrnuti podatke koji su u redovima. Podaci se mogu premjestiti u stupce koji se protežu preko proračunske tablice, što može pomoći da podaci poprime korisniji oblik kada se pretvore u vizualni grafikon. Automatizacija manipulacije podacima doprinosi ubrzanju procesa i eliminira potencijalnu ljudsku pogrešku koja proizlazi iz ručne manipulacije podacima. Zaokretne tablice i zaokretni grafikoni po prirodi su dinamični i omogućuju trenutnu promjenu sadržaja kako bi se odgovorilo na specifična pitanja vezana uz podatke, dok bi bilo potrebno uložiti značajan trud u preuređivanje podataka kako bi se odgovorilo na ista pitanja s tradicionalnim tablicama (Miller, 2014).

Primjer izvješća zaokretne tablice koji prikazuje ukupnu vrijednost (područje vrijednosti) proizvoda koje je prodao svaki dobavljač (područje redaka) pojedinačnim izvođačima (područje stupaca) prema danom načinu transporta (područje filtera) prikazan je na slici 1.4.



Slika 1. 4. Primjer izvješća zaokretne tablice u Excelu

Budući da se polja u zaokretnoj tablici mogu postaviti u bilo kojoj konfiguraciji, rezultat je svaki put drugačiji učinak izgleda izvješća. Slika 1.5 prikazuje zaokretnu tablicu stvorenu iz istog izvornog popisa kao zaokretna tablica na slici 1.4, ali ovaj put predstavlja izvješće za analizu prosječne količine (područje vrijednosti) prodanih proizvoda (područje redaka) i isporučenih određenom kupcu (područje filtara) korištenjem dane vrste transporta (područje stupaca).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Customer	(All)							
2									
3	Average of Quantity	Column Labels							
4	Row Labels	air	land	maritime	Grand Total				
5	Apples	15			15				
6	Apricots	12,5	12,5		12,5				
7	Berries	15			15				
8	Carrot		10		10				
9	Cherries	10	20		15				
10	Cucumbers	12,5			12,5				
11	Onion		13	15	14				
12	Parsley	10	10	20	13,33333333				
13	Peaches		12,5		12,5				
14	Pears			15	15				
15	Plums		30	30	30				
16	Potatoes	20	25		21,25				
17	Raspberries	10	15		12,5				
18	Strawberries	20			20				
19	Tomatoes			10	10				
20	Grand Total	14,64285714	15,72727273	18	15,6				

PivotTable Fields

Choose fields to add to report:

Search

☒ Product
☒ Quantity
☐ Price
☐ The value of sales
☒ Transport type
☐ Date of sale

More Tables...

Drag fields between areas below:

Filters: Customer
Columns: Transport type

Rows: Product
Values: Average of Quantity

Slika 1. 5. Zaokretna tablica koja prikazuje Prosječan broj prodanih proizvoda isporučenih pojedinom Kupcu korištenjem pojedinih vrsta transporta

Izvor: vlastita studija

Trenutno je među poduzetnicima povećan interes za 'što ako?' proračunske tablice s mogućnostima optimizacije, kao što je **EXCEL Solver** (Microsoft Co). Excel Solver prvenstveno se koristi za rješavanje i optimiziranje dizajna i integracije procesa. Inženjeri praktičari također koriste proračunske tablice za mnoge zadatke, budući da optimizacija procesa postaje sve češći zadatak u sintezi, dizajnu i integraciji procesa.

Solver se zbog svoje korisnosti vrlo često koristi u procesu donošenja odluka za optimizaciju pitanja kao što su: učinkovito korištenje postojećih materijala, smanjenje troškova isporuke i transporta, određivanje obujma proizvodnje ili određivanje najboljeg višesmjenskog rasporeda rada.

Solver je besplatni dodatak za proračunsku tablicu Microsoft Excel. Excel Solver ima dva nelinearna neograničena optimizatora, kvazi-Newton metodu i metodu smanjenog gradijenta. Oni se koriste unutar algoritma *Generalized Reduced Gradient* za rješavanje problema ograničene optimizacije. Linearna simpleks metoda s ograničenjima na varijable i metoda grananja i vezanja mogu se koristiti za rješavanje linearnih i cjelobrojnih problema. Pristup koji se koristi za dobivanje boljih početnih procjena temeljnih varijabli u bilo kojem jednodimenzionalnom pretraživanju može se odrediti u opcijama Solvera. Može se koristiti linearna ekstrapolacija iz tangentnog vektora ili kvadratna ekstrapolacija, što može poboljšati



rezultate za izrazito nelinearne probleme. Također je moguće specificirati diferencijalnu metodu za procjenu derivacija funkcija cilja i ograničenja: naprijed, kada se vrijednosti ograničenja mijenjaju relativno sporo, ili središnju metodu, koja se koristi za probleme kada se ograničenja brzo mijenjaju, posebno blizu granica aktivnih ograničenja (Ferreira i dr., 2004).

Kako biste izvršili izračun, prvo morate započeti s kodiranjem sadržaja Excel radnog lista i postaviti formulu koja izračunava funkciju u odabranu ćeliju. Vrijednosti parametara funkcije, kao i argumenti koji se traže, moraju biti kodirani u ćelijama odabranog raspona radnog lista. Osim toga, treba spremati formule potrebne za uključivanje varijabilnih ograničenja u izračun. Zatim bi se trebao prikazati dijaloški okvir Solver, dizajniran da odredi odnose potrebne za postizanje rješenja. U prozoru, pozivajući se na adrese ćelija, treba označiti (Bomba i April, 2012):

- ciljna ćelija, npr. \$A\$2,
- tražene vrijednosti funkcije cilja (Max, Min ili Value),
- raspon traženih varijabli, npr. \$H\$8:\$H\$13,
- relacije ograničenja,
- metoda rješenja (nelinearni GRG, LP simpleks ili evolucijski).

Solver će izvršiti izračun optimizacije kada se pritisne gumb Riješi, što će rezultirati prikazanim izvješćem s rezultatima.

Opis zadatka: Poduzeće proizvodi dva proizvoda: A i B. Svaki od njih stvara dobit, ali zahtijeva različitu količinu radnog vremena i materijala (ulazni podaci se nalaze u tablici 1.1).

Tablica 1. 1. Ulazni podaci za zadatak optimizacije koji rješava Solver

Maksimalno	Proizvod	Dobit po jedinici	Radno vrijeme (sati)	Materijal (kg)
	A	50	2	1
	B	40	1	2
Radno vrijeme			100	
Količina materijala				80

Izvor: vlastita studija

Odredite koliko jedinica svakog proizvoda treba proizvesti kako bi se maksimizirao profit, uz ograničenja radnog vremena i dostupnosti materijala?



	A	B	C	D	E
1		A	B	Total:	Maximum:
2	Profit:	50	40	2800	
3	Work time:	2	1	100	100
4	Material:	1	2	80	80
5	Number of products produced	40	20		

Solver Parameters

Set Objective: \$D\$2

To: ☒ Max ☐ Min ☐ Value Of: 0

By Changing Variable Cells: \$B\$5:\$C\$5

Subject to the Constraints:

- \$B\$5:\$C\$5 >= 0
- \$D\$3 <= \$E\$3
- \$D\$4 <= \$E\$4

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method: GRG Nonlinear

Solving Method: Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Buttons: Help, Solve, Load/Save, Reset All, Delete, Change, Add, Options

Slika 1. 6. Primjena Solvera na primjeru zadatka optimizacije

Izvor: vlastita studija

Makronaredbe u Excelu su nizovi naredbi napisani u programskom jeziku Visual Basic for Applications (VBA), koji omogućuju automatizaciju radnji koje se često izvode u proračunskoj tablici. Zahvaljujući makronaredbama, niz zamornih i ponavljajućih operacija može se svesti na jedan klik gumba ili kombinaciju tipki. Ako se više istih operacija često izvodi na nekim podacima u poduzeću, vjerojatno je da se one mogu automatizirati pomoću makronaredbe. Očito je vrijedno stvoriti univerzalni makronaredbu, sposobnu izvršiti slijed specifičnih radnji ne samo na jednom podatku, već i ako se izgled podataka malo promijeni ili ako se broj podataka poveća ili smanji. Iz tog razloga, prilikom dizajniranja makronaredbe, važno je koristiti naredbu koja se može primijeniti na više listova, a ne samo na jedan, u određenoj situaciji.

Primjeri automatizacije rada pomoću makroa: (1) automatsko sortiranje podataka, (2) automatski unos podataka, (3) automatsko ispunjavanje obrazaca, (4) automatsko generiranje izvještaja, (5) automatsko kreiranje i obrada obrazaca i anketa, (6) automatska integracija s drugim sustavima.

Microsoft Power Query (PQ) je Microsoft Excel dodatak za proračunske tablice za verzije prije Excela 2016, dizajniran od strane Microsofta za podršku Self-Service Business



Intelligence rješenja. Također vrijedi istaknuti njegovu korisnost u radu s podacima, njihovom prikupljanju ili analizi. PQ omogućuje preuzimanje podataka iz mnogo različitih područja; počevši od relacijskih baza podataka, preko podataka iz SharePointa i operativnog sustava, pa sve do podataka preuzetih s bilo koje web stranice. Dodatna prednost je što omogućuje preliminarnu obradu podataka, kao i njihovu pripremu za daljnju analizu ili vizualizaciju. Implementacija gore navedenih funkcija moguća je zahvaljujući posebnom jeziku "M", koji se koristi u Power Queryju za izradu formula i daje velike mogućnosti korištenja naprednih funkcija za rad na podacima pomoću odabranih operatora.

Power Map je dodatak za Microsoft Excel Professional i Office 365 Professional koji vam omogućuje stvaranje jasnih geoprostornih vizualizacija vaših podataka izravno iz Excela. U mnogim slučajevima vizualizacije podataka, Power Map potpuno eliminira potrebu za programiranjem, omogućujući vam da izravno radite s podacima u proračunskoj tablici i prikazujete odnose izravno na karti. Kao koristan alat za otklanjanje pogrešaka, omogućuje vam dohvaćanje informacija iz baze podataka, njihov uvoz u Excel, vizualizaciju i izvođenje zaključaka bez potrebe za pisanjem koda za iscrtavanje podataka na karti (Au i Rischpater, 2015).

Power Map može pomoći u stvaranju 3D vizualizacija iscrtavanjem do milijun podatkovnih točaka kao karata stupaca, topline i mjehurića na Bing karti. Ako podaci imaju vremenski žig, također mogu stvoriti interaktivne prikaze koji pokazuju promjenu podataka tijekom vremena i prostora (Clark, 2014).

1.5. Primjene proračunskih tablica u raznim sektorima

Excel tablica se najčešće koristi kao alat u proizvodnim tvrtkama koje nemaju integrirane informacijske sustave.

Prva asocijacija na korištenje proračunskih tablica su naravno razne vrste uredskih poslova. Koristi se za izradu popisa zaposlenika, izvješća o prodaji i izračunavanje plaća zaposlenika. Programi ove vrste također se široko koriste u računovodstvu, zahvaljujući naprednim funkcijama financijskog izračuna. Grafikoni i zaokretne tablice dostupni u



proračunskim tablicama također vam pomažu da vizualizirate kamate koje se nakupljaju prilikom prodaje financijskih proizvoda, kako u bankarstvu, osiguravajućim društvima tako i u investicijskom sektoru. Osim toga, proračunske tablice također se koriste za prikupljanje i obradu informacija potrebnih za optimizaciju procesa i strojeva koji se koriste u industriji. Inherentna upotreba listova također uključuje izradu različitih vrsta uzoraka i predložaka za komercijalne ponude (www_1.2).

Excel se također koristi u području logistike. Logističari u svom radu vrlo često koriste proračunske tablice kao podršku odlukama u području logistike. ove uključuju :

1) Analiza kontrole zaliha:

- analizu strukture, dinamike i obujma nabave,
- analiza kompletnosti i prikladnosti zaliha,
- pokazatelji produktivnosti zaliha,
- analiza troškova vezanih uz zalihe.

2) Dinamička analiza razvoja logističkih mjera tijekom vremena pomoću zaokretne tablice:

- analiziranje i uspoređivanje troškova nabave,
- usporedba pokazatelja tijekom vremena,
- viševalutne analize i izračuni,
- analiza opsežnih baza podataka pomoću pivot tablice,
- analiza u oblasti prometa.

3) Grafički prikaz podataka u izvješćima u obliku različitih vrsta grafikona.

4) Proračunska i operativna logistička izvješća.

Excel tablica se koristi kao pouzdan alat za pripremu složenih izvješća kada postoje problemi s čitanjem istih nakon što su ih generirali logistički sustavi kao što su ERP ili WMS, koji imaju vlastite sustave za izvještavanje. Pivot tablice su vrlo korisne jer se ne mogu kreirati u drugim informatičkim sustavima koji podržavaju logističke procese, a one kreirane u Excelu su jasne, razumljive i transparentne (www_1.3).



Logistika je područje menadžmenta u kojem se često susrećemo s mjerljivim vrijednostima koje se mogu opisati matematičkim modelom, što Excel čini idealnim za analizu specifičnih pitanja donošenja odluka u području logistike. Evo primjera nekih od njih:

- koordinacija protoka resursa u opskrbnom lancu,
- provedba transportnih zadataka,
- minimizacija praznih vožnji u transportu,
- posrednički problemi,
- problem trgovačkog putnika,
- model ekonomske (optimalne) količine narudžbe,
- optimizacija proizvodnog asortimana za maksimiziranje profita,
- planiranje kapaciteta i potražnje materijala u proizvodnom poduzeću,
- optimizacija proizvodnje i distribucije proizvoda,
- optimizacija izvršenja naloga,
- XYZ analiza u upravljanju zalihama,
- rješavanje problema kalkulacije cijena logističkih usluga,
- višekriterijska analiza i evaluacija.

PITANJA POGLAVLJA

1. Koji su glavni izazovi vezani uz upravljanje informacijama i podacima u kontekstu dinamički promjenjivog organizacijskog okruženja i logističkog sustava?
2. Koje radnje organizacije mogu poduzeti kako bi osigurale visokokvalitetne informacije i ispunile očekivanja korisnika u kontekstu upravljanja opskrbnim lancem?
3. Koje su prednosti korištenja proračunskih tablica u analizi podataka i prezentaciji rezultata u različitim projektima?



LITERATURA

Au, C. i Rischpater, R., (2015). Power Map for Excel. Microsoft Mapping, Geospatial Development in Windows 10 with Bing Maps and C#. Second Edition, Apress, 159-165.

Broman, K.W. i Woo, K.H. (2018). Data Organization in Spreadsheets, The American Statistician, Taylor i Francis Group, Vol. 72, No.1, 2–10.

Clark, D., (2014), Beginning Power BI with Excel 2013. Self-Service Business Intelligence Using Power Pivot, Power View, Power Query, and Power Map, Apress.

Ferreira, E., Lima, R. i Salcedo, R., (2004). Spreadsheets in Chemical Engineering Education – A Tool in Process Design and Process Integration, Int. J. Engng Ed. Vol. 20, No. 6, 928-938.

Shinsato Jr, Ch., de Mattos Veroneze G., da Costa Craveiro, J M., Neto, T M. (2023). Proposal of an inventory control system based on the flow of materials in a warehouse using Excel/VBA, E-tech-Vol.16, Iss:1

Szymczak, M. (ed) (2011). Decyzje logistyczne z Excelem, Difin S.A., Warszawa.

Szymonik, A. (2010). Technologie informatyczne w logistyce, Placet, Warszawa.

Szymonik, A. (2015). Informatyka dla potrzeb logistyka (I), Difin S.A., Warszawa.

Zhang, C. i Shao, X. (2020). Research on intelligent analysis of port logistics information based on dynamic data mining, Journal of Coastal Research, vol. 115.

(www_1.1) <https://blog.strefakursow.pl/wprowadzenie-do-analizy-danych-kluczowe-pojecia-i-narzedzia-dla-poczatkujacych/> , (pristup 2024.01.04)

(www_1.2) <https://www.xblue.pl/co-to-jest-i-do-czego-sluzy-arkusz-kalkulacyjny/> , (pristup 2024.01.04)

(www_1.3) <https://www.projektgamma.pl/strefa-wiedzy/wiki-eksperckie/microsoft-office-excel-w-logistyce/> , (pristup 2024.01.04)



2. METODE VIZUALIZACIJE PODATAKA

U poglavlju se govori o vizualizaciji podataka i njezinoj upotrebi za učinkovitiju i precizniju analizu podataka. Najvažnija pitanja ovog poglavlja uključuju:



- potrebe za korištenjem vizualizacije podataka i njezine prednosti,
- vrste vizualizacije podataka – kada i koje vizualizacije koristiti,
- usporedba karata s obzirom na njihova svojstva,
- opisivanje nadzornih ploča,
- opisivanje koncepta izgradnje nadzornih ploča.

2.1. Uvod

U današnje vrijeme nemoguće je zamisliti funkcioniranje svijeta bez analize podataka. Uz obilje dostupnih informacija, vizualizacija podataka jedan je od najvažnijih alata koji pomaže u njihovom razumijevanju, donošenju zaključaka i posljedično donošenju poslovnih odluka (Buono, 2016). Metode vizualizacije pomažu analizirati podatke i transformirati ih u informacije i znanje o poslovanju. Zahvaljujući vizualizaciji podataka, lakše je donositi poslovne odluke na temelju činjenica, a ne samo osjećaja (Graudina i Grundspenkis, 2005). Same metode vizualizacije podataka razvijaju se s razvojem tehnologije, uglavnom BI alata (alati poslovne inteligencije). Upravo je razvoj BI-a popularizirao nadzorne ploče koje korisnicima omogućuju analizu i praćenje podataka u stvarnom vremenu (Tezel i dr., 2009).

Ovo poglavlje pokriva odabir različitih vrsta grafikona i raspravlja o procesu stvaranja nadzornih ploča. Postoje mnoge vrste grafikona, uključujući stupčaste grafikone, linijske grafikone, tortne grafikone, površinske grafikone, burzovne grafikone, plošne grafikone, radarske karte ili polarni grafikon, prstenaste grafikone, točkaste grafikone, lijevaste grafikone, raspršene grafikone, ali i histograme, toplinske karte i karte stabala. Izbor grafikona



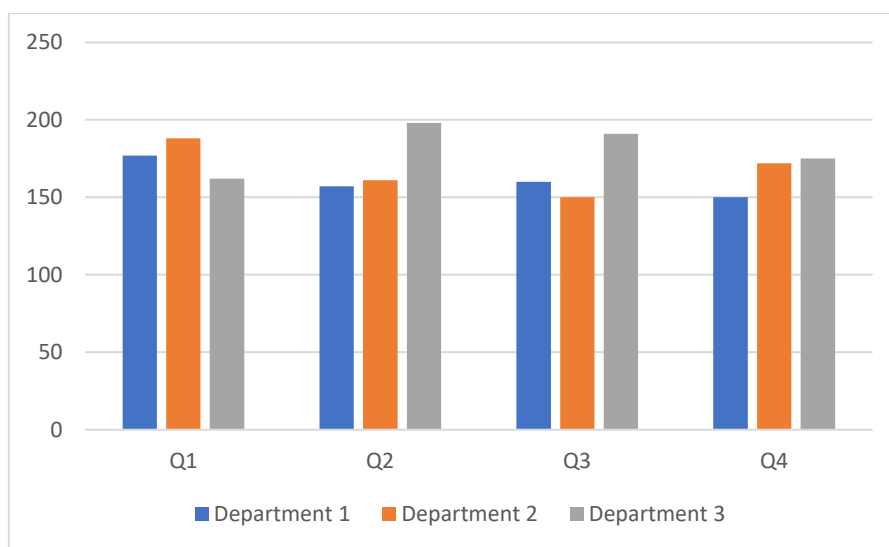
treba prilagoditi vrsti podataka koji se analiziraju i treba biti uvjetovan potrebom analize koja se provodi.

Sve vrste vizualizacija podataka omogućuju bolje razumijevanje. Vizualizacije omogućuju obraćanje pozornosti na najvažnije stvari, odstupanja i trendove. Dodatno, predstavljanje podataka na grafikonima, kartama i nadzornim pločama pretvara podatke u informacije, što može rezultirati približavanjem znanju potrebnom za donošenje poslovnih odluka (Hansoti, 2010).

2.2. Metode vizualizacije podataka

Stupčasti grafikoni

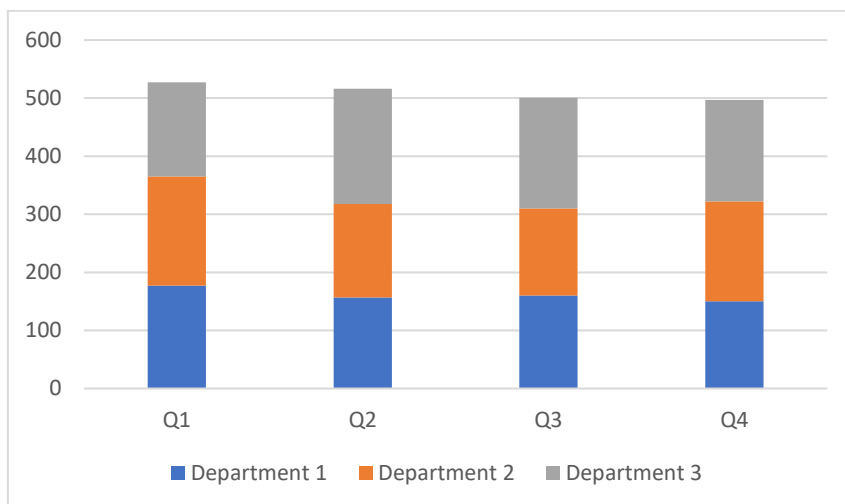
Stupčasti grafikoni (okomiti raspored) i trakasti grafikoni (vodoravni raspored) neki su od najpoznatijih i najkorištenijih grafikona. Oni koriste stupce za prikaz vrijednosti podataka o kategoriji, gdje duljina stupaca predstavlja vrijednost podataka. Što je veća vrijednost, to je stupac viši ili traka dulja. Zahvaljujući stupčastim grafikonima možete usporediti veličinu kategorija i, prije svega, usporediti razlike među njima. Kategorije mogu biti vrijeme, mjerenje (npr. prodaja, troškovi, marža), mjesto, lokacija. Grafikoni mogu biti složeni, gdje će nekoliko kategorija biti u jednoj traci po vremenu, ili grupirani, gdje će sve kategorije biti jedna pored druge. Pojedinačne kategorije mogu se grupirati zajedno (www_2.1).



Slika 2. 1. Grupirani stupčasti grafikon

Izvor: vlastita studija

Na prikazanim slikama 2.1 i 2.2 možete uočiti razlike između naslaganog i grupiranog grafikona. Grafikoni se mogu grupirati na različite načine, tako da možemo gledati iste podatke iz različitih perspektiva. Stupčasti dijagrami često se koriste za prikaz prodajnih rezultata, marži po okrugu ili za prikaz podrške političkim strankama tijekom izbora.



Slika 2. 2. Složeni stupčasti grafikon

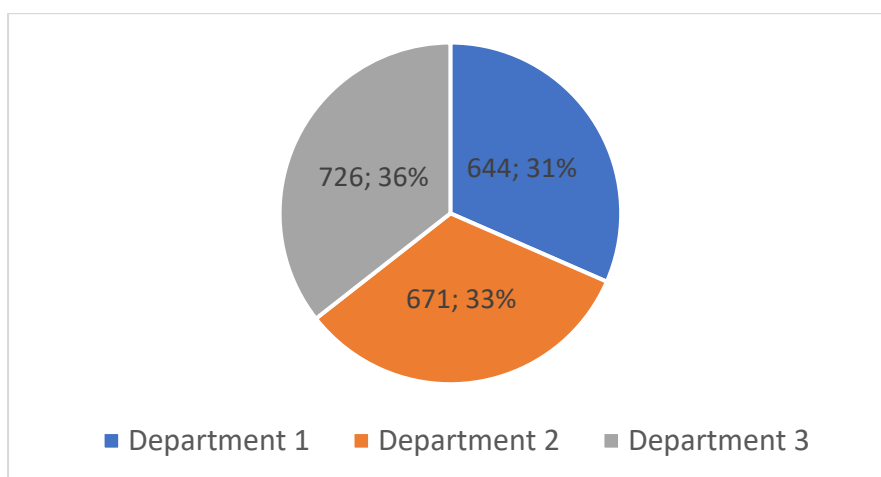
Izvor: vlastita studija



Tortni grafikoni

Tortni grafikoni još su jedan popularan grafikon koji pokazuje doprinos različitih kategorija ukupnoj metrici. Grafikon se ne smije koristiti za vremenski osjetljive podatke, ali vrijedi za agregatnu analizu (godina, kvartal, mjesec). Grafikon ističe dominantnu kategoriju u smislu npr. prodajne vrijednosti (www_2.1).

Gornja slika 2.3 prikazuje distribuciju prodaje u kružnom grafikonu. Što je veći udio vrijednosti ispitivane kategorije u cjelini, to je sektor kruga veći. Grafikon se može uspješno koristiti kada se prikazuje struktura proračuna ili prikazuje struktura prodaje po odjelu ili podružnici (www_2.2).

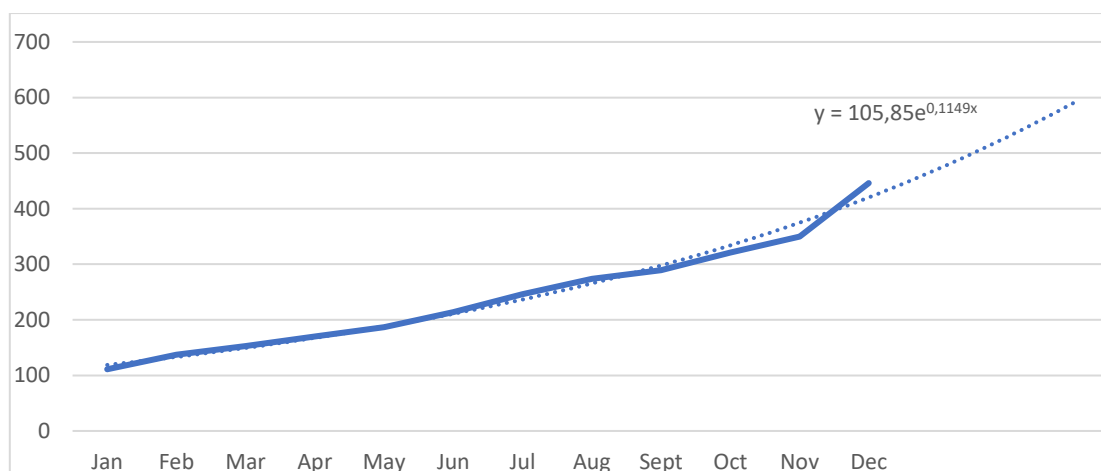


Slika 2. 3. Tortni grafikon

Izvor: vlastita studija

Linijski grafikoni

Linijski grafikoni su grafikoni koji se mogu koristiti za prikaz podataka tijekom vremena. Zahvaljujući ovom pristupu, možemo jednostavno analizirati trend, dinamiku trenda ili čak prognozirati vrijednosti u budućnosti (www_2.3).



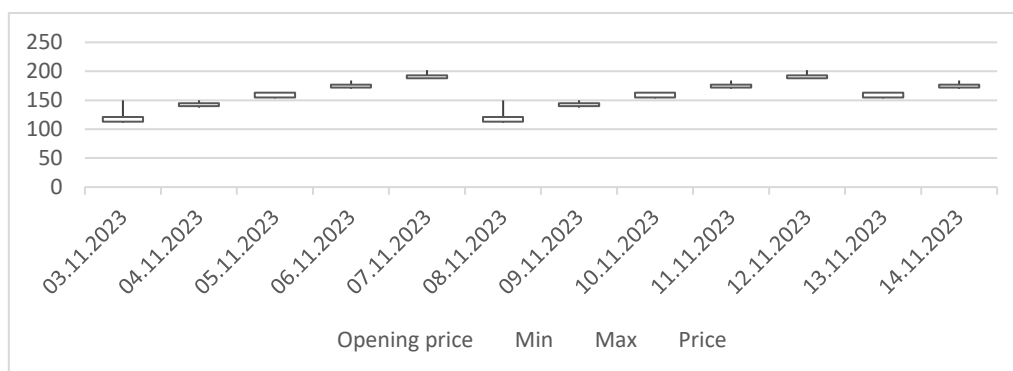
Slika 2. 4. Linijski grafikon

Izvor: vlastita studija

Slika 2.4 prikazuje prodaju po mjesecu, pokazujući eksponencijalni trend te prodaje. Linijski grafikon kombinacija je točaka koje pokazuju veličinu određene kategorije tijekom vremena. Grafikoni se mogu koristiti za prikaz tečaja valuta ili za prikaz trenda prodaje određenog proizvoda (www_2.1).

Burzovni grafikoni

Burzovni grafikoni se koriste za prikaz cijena dionica na burzi. Grafikon može prikazati cijenu otvaranja, cijenu zatvaranja te minimalne i maksimalne vrijednosti u određeno vrijeme (www_2.4).



Slika 2. 5. Stock chart

Izvor: vlastita studija



Slika 2.5 u nastavku prikazuje početnu i zaključnu cijenu dionice od 3. studenog do 14. studenog 2023. godine, zajedno s maksimalnim i minimalnim vrijednostima u ovom rasponu. Grafikon se koristi za prikaz cijena dionica i valuta (www_2.2).

Površinske karte

Površinski grafikoni daju vam mogućnost predstavljanja trodimenzionalnih podataka na dvodimenzionalnom grafikonu. Omogućuju vam da prikazete dvije neovisne varijable s jednom ovisnom varijablom. Zavisna varijabla prikazana je različitim bojama ili visinama. Grafikon se može koristiti, na primjer, za modeliranje topografije terena (www_2.5).

Polarni grafikoni

Polarni grafikoni (još se nazivaju i raderski grafikoni) koriste se za prikaz više varijabli za odabrane kategorije. Grafikon se ne koristi u vremenskoj perspektivi, već se koristi za procjenu zadane kategorije, npr. za procjenu sposobnosti sportskog igrača i njegovih vještina, ali i za procjenu ispunjava li pružatelj usluga kriterije (www_2.4).



Slika 2. 6. Radarska karta

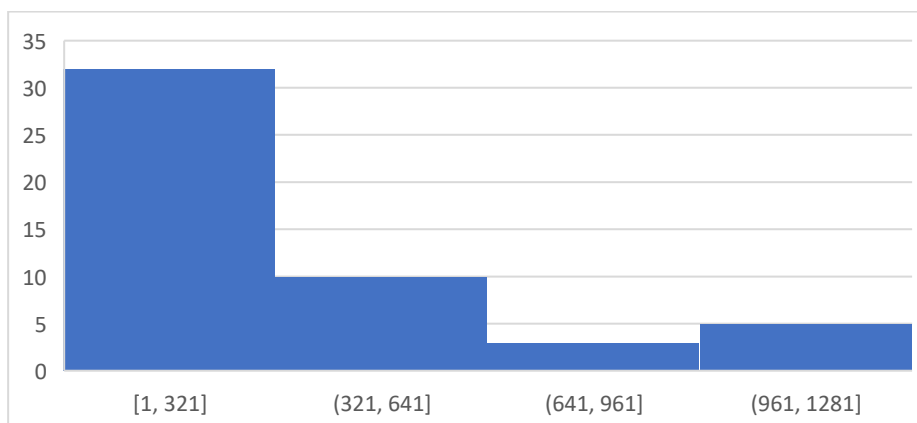
Izvor: vlastita studija

Slika 2.6 iznad prikazuje radarsku kartu koja ocjenjuje pojedinačne značajke svakog dobavljača. Grafikon omogućuje međusobno uspoređivanje kako bi se odabrao dobavljač koji najbolje odgovara potrebama subjekta koji analizira.

Histogrami

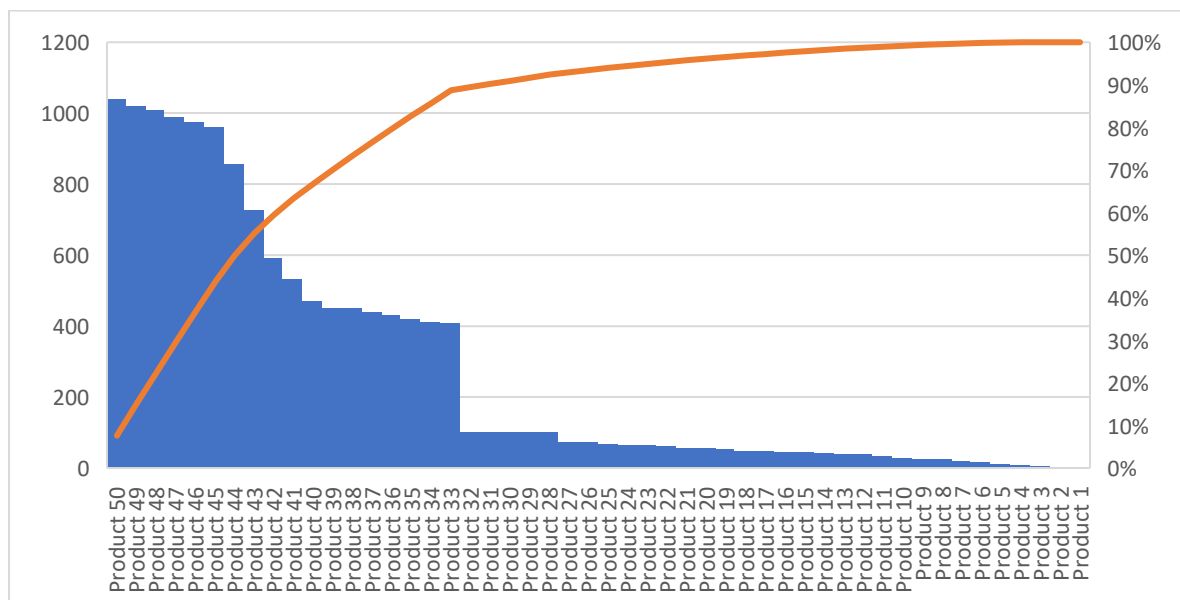


Histogrami se mogu koristiti za prikaz distribucije numeričkih podataka, što poboljšava razumijevanje distribucije oko srednje vrijednosti i omogućuje prepoznavanje veličina grupa. Histogrami se koriste za statistička istraživanja, uključujući ispitivanje distribucija u određenoj populaciji (www_2.2).



Slika 2. 7. Histogram

Izvor: vlastita studija



Slika 2. 8. Pareto dijagram

Izvor: vlastita studija

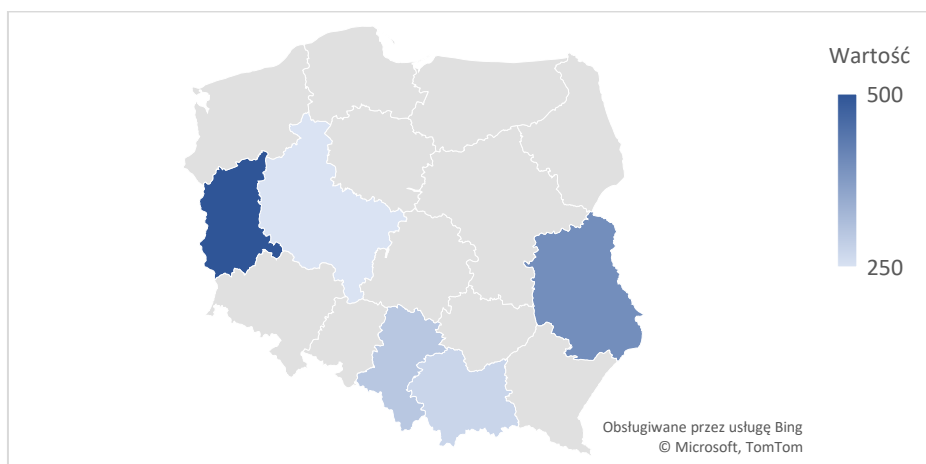


Slike 2.7 i 2.8 iznad prikazuju distribuciju prodaje koristeći histogram, Pareto i Lorenzovu krivulju. Vidljive su četiri distribucijske grupe, gdje najveći skup čine najmanji kupci. Koristeći Pareto grafikon možete obratiti pozornost na to koliko je prvih kupaca odgovorno za koji postotak prodaje.

Toplinske karte

Toplinske karte se koriste za vizualizaciju podataka uzimajući u obzir geolokaciju ili teritorijalne jedinice. Označena područja postaju sve tamnija s višim vrijednostima. Karte također mogu sadržavati različite vrste grafikona. Također možete iscrtati vremensku os na kartama, tako da možete promatrati promjene vrijednosti za odabranu lokaciju (www_2.4).

Slika 2.9 prikazuje toplinsku kartu koja ističe prodaju po regijama. Vidi se da je najveća prodaja u Lubuskom vojvodstvu u Poljskoj.



Slika 2. 9. Toplinska karta

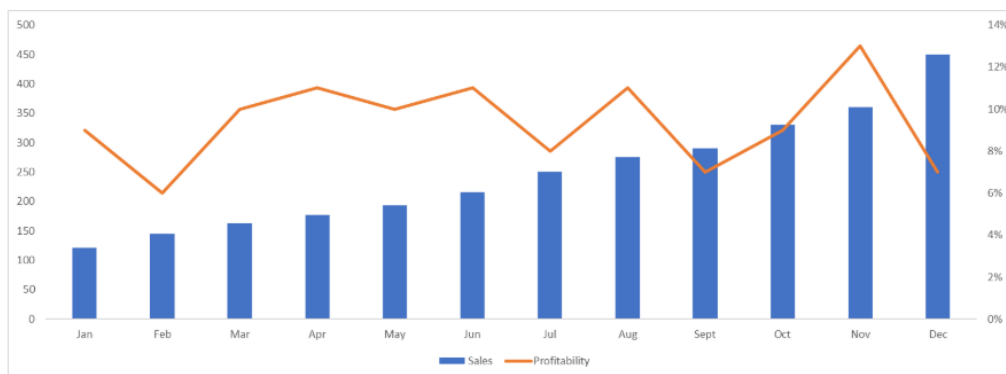
Izvor: vlastita studija

Kombinirani grafikon

Kombinirani grafikoni kombinacija su nekoliko gore navedenih grafikona. Mogu se koristiti za vizualizaciju raznih podataka. U takvim grafikonima možete koristiti pomoćnu



podatkovnu os za praktičniju vizualizaciju podataka. Takav se grafikon može koristiti za analizu, primjerice, prodaje i profitabilnosti (www_2.2).



Slika 2. 10. Kombinirani grafikon

Izvor: vlastita studija

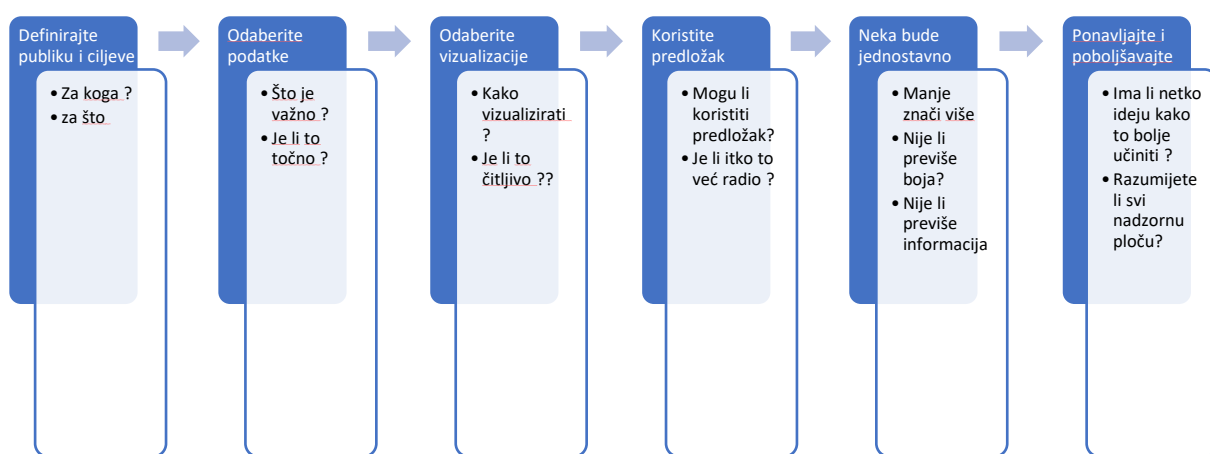
Gornja slika 2.10 prikazuje prodaju s profitabilnošću korištenjem sekundarne osi. Grafikon se može koristiti za mnoge analize gdje postoji potreba za korištenjem različitih grafikona.

Nadzorna ploča

Nadzorne ploče skup su mnogih dijagrama, mapa i tablica koje omogućuju praćenje i analizu podataka, KPI-ja te operativnih i financijskih rezultata. Nadzorne ploče mogu prikazati rezultate u stvarnom vremenu i mogu biti potpuno fleksibilne i kaskadne. Interaktivnost nadzornih ploča omogućuje produbljivanje analize i prijelazak s općeg na specifično. Svrha nadzornih ploča je podrška upravljanju poslovanjem, odnosno podaci moraju pružiti informacije potrebne za donošenje poslovnih odluka (www_2.2).

Nadzorne ploče možemo usporediti, kao što ime govori, s nadzornom pločom automobila koja sadrži najvažnije informacije, indikatore, mjerače i trendove u odnosu na podatke koji se ispituju (www_2.6). Interaktivnost, odnosno filtriranje podataka, mogućnost prijelaza od općeg prema specifičnom, glavna je karakteristika nadzornih ploča. Bilo koja vrsta interaktivnih gumba/filtara trebala bi biti jednostavna za korištenje i s kojom bi se svakodnevno radilo (www_2.6).

Nadzorne ploče omogućuju brzo i učinkovito donošenje odluka rukovoditeljima, analitičarima i menadžerima pružajući informacije o izvedbi procesa, tako da svi primatelji nadzornih ploča mogu bolje razumjeti poslovanje. Dodatna pogodnost je praćenje ostvarenja ciljeva i fokusiranje na najvažnije informacije. Još jedna prednost je što možete jednostavno izolirati najmanje učinkovite faze procesa ili najveća odstupanja od ciljeva, što vam omogućuje puno brže uvođenje korektivnih radnji. Nadzorne ploče imaju prednost u odnosu na tradicionalna izvješća u tome što prikazuju podatke u praksi u stvarnom vremenu (www_2.7).



Slika 2. 11. Kako stvoriti nadzornu ploču

Izvor: vlastita studija na temelju: (www_2.8)

Slika 2.11 prikazuje korak po korak kako pristupiti izradi nadzorne ploče. Najvažnije je znati razlog izrade izvješća, kome ono treba pomoći da bolje rade svoj posao i što želimo postići. Sljedeći korak je znati koje podatke koristiti i provjeriti jesu li točni. Sljedeći korak je prikladno prilagođavanje vizualizacije podacima ili korištenje dostupnih predložaka. Posljednji su koraci najvažniji, jer pri izradi nadzorne ploče moramo imati na umu da je manje više i da bi nadzorna ploča trebala biti korisna primatelju. To znači da mora biti čitljiva, transparentna, oku ugodna te da je kreator nadzorne ploče treba modificirati ako to primatelj zahtijeva (www_2.8).

Slika 2.12 prikazuje primjer nadzorne ploče prodaje, koja prikazuje prodaju najvećim kupcima i uspoređuje ih s prošlom godinom. Također je uzeto u obzir ostvarenje prodajnih



ciljeva i podjela prodaje po regijama. Nadzorne ploče prodaje omogućuju praćenje prodaje i brzu intervenciju u slučaju neočekivanih padova ili neispunjenja proračuna.



Slika 2. 12. Primjer nadzorne ploče prodaje

Izvor: (www_2.9)



Slika 2. 13. Upotreba nadzornih ploča

Izvor: vlastita studija na temelju: (www_2.8)

Slika 2.13 prikazuje moguće upotrebe nadzornih ploča. Praktično ne postoji polje u kojem se nadzorne ploče ne mogu koristiti za poboljšanje procesa i donošenje ispravnih poslovnih odluka. Vizualizacija podataka pomoću nadzornih ploča gradi svijest zaposlenika o operacijama u svim mogućim procesima.



Slika 2. 14. Primjer operativne nadzorne ploče

Izvor: (www_2.10)

Slika 2.14 prikazuje primjer nadzorne ploče koja podržava upravljanje projektima. Vizualizacija podržava pregled napretka rada i ukazuje na rizične faze. Vizualizacija koristi nekoliko vrsta grafikona koji su međusobno grafički konzistentni.

Nadzorne ploče najlakše je izraditi pomoću programa kao što su Power BI, Qlik, Tableau, Google Data Studio i drugih alata Business Intelligence. Dodatno, alternativna opcija je korištenje najpopularnijeg "spreadsheeta", tj. MS Excela.



2.3. Vrste usporednih grafikona

Vizualizacija podataka je mogućnost upoznavanja podataka i izvlačenja znanja iz njih koja podržavaju vođenje poslovanja. Odgovarajući odabir grafikona, karata ili sveobuhvatno kreiranih nadzornih ploča može izgraditi konkurentsku prednost. Alati bi trebali omogućiti ulazak u detalje analize, tako da primatelj vizualizacije može izvući zanimljive zaključke.

Tablica 2.1 uspoređuje svojstva tipova grafikona koji se mogu koristiti za analizu podataka. Na temelju tablice možete odabrati odgovarajuću vrstu grafikona za svoje potrebe.

Tablica 2. 1. Tablica koja uspoređuje vrste grafikona prema njihovim svojstvima

Vrsta grafikona	Prikladno za analizu trendova	Ispravno pokazuje mjeru vremena	Savršeno za usporedbu veličina kategorija	Učinkovito u prikazivanju postotnih podataka	Dobar za predstavljanje odnosa između	Dostupno široj zajednici
Stupac	Ne	Da	Da	Da	Ne	Da
Linija	Da	Da	Ne	Ne	Da	Da
Pita	Ne	Ne	Da	Da	Ne	Da
Površina	Ne	Ne	Da	Da	Ne	Da
Zaliha	Da	Da	Ne	Ne	Da	Da
Površinski	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da
Radar	Ne	Ne	Da	Ne	Da	Ne
Raspršeni	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da
Histogram	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Da
Toplinska karta	Ne	Ne	Da	Da	Ne	Da
Kombinacija	Da	Da	Da	Da	Da	Da

Izvor: vlastita studija



PITANJA POGLAVLJA

1. Koji su neki od izazova koji se mogu pojaviti prilikom izrade nadzornih ploča?
2. Utječe li izbor vrste grafikona na tumačenje podataka i donošenje odluka? Obrazložite svoj odgovor.

LITERATURA

Buono, P. (2016). Visualizing Transportation Routes for Data Analysis in Logistics, 210-215. 10.18293/DMS2016-040.

Graudina, V. i Grundspenkis, J. (2005). Technologies and Multi-Agent System Architectures for Transportation and Logistics Support: An Overview. s.l., International Conference on Computer Systems and Technologies.

Hansoti B. (2010). Business Intelligence Dashboard in Decision Making (Unpublished master thesis). College of Technology Directed Projects. Paper 15. <http://docs.lib.purdue.edu/techdirproj/15>

Tezel, A. i Koskela, L. i Tzortzopoulos, P. (2009). The Functions of Visual Management. Presented at International Research Symposium, Salford, UK.

(www_2.1) <https://www.ibm.com/docs/en/planning-analytics/2.0.0?topic=charts-chart-types> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.2) <https://powerbi.microsoft.com/en-us/excel-and-power-bi/> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.3) <https://www.simplilearn.com/types-of-data-visualization-article> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.4) <https://datavizcatalogue.com/> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.5) <https://visme.co/blog/data-visualization-types/> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.6) <https://www.arimetrics.com/en/digital-glossary/dashboard> , (pristup 2023.11.09)



(www_2.7) <https://insightsoftware.com/encyclopedia/dashboards-dashboarding/> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.8) <https://www.tableau.com> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.9) <https://www.slideteam.net/sales-performance-dashboard-sales-comparison-sales-by-product-category.html> , (pristup 2023.11.09)

(www_2.10) <https://www.slideteam.net/blog/operational-dashboard-templates-ppt-presentation> (pristup 2023.11.09)



3. OPTIMIZACIJA U UPRAVLJANJU OPSKRBNIM LANCEM

U poglavlju su prikazana najvažnija pitanja vezana uz upravljanje zalihama. Poseban naglasak stavljen je na analizu logističkih podataka, za što se može koristiti proračunska tablica. Ovdje ćete pronaći :



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

3.1. Uvod

Optimizacija u logistici je proces pronalaženja najučinkovitijeg načina organiziranja protoka robe, informacija i resursa kroz cijeli opskrbni lanac, od početne do konačne točke, uz minimiziranje operativnih troškova uz istovremeno osiguranje visoke kvalitete i ispunjavanje zahtjeva 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 kvalitete logističke usluge,
- povećana fleksibilnost i osjetljivost na promjene potražnje,
- smanjenje razine zaliha uz osiguranje kontinuiteta opskrbe,
- poboljšano upravljanje skladišnim prostorom i transportnim resursima,
- integracija i automatizacija logističkih procesa.



Modeli logističke optimizacije primjenjuju se u odnosu na (Smyk, 2023): (1) dizajn distribucijske mreže (određivanje lokacija distribucijskih centara) – opisano u poglavlju Optimizacija logističke mreže, (2) projektiranje transportnih sustava (optimizacija transportnih zadataka, minimiziranje praznih vožnji, određivanje ruta isporuke) – opisano u poglavlju Optimizacija transporta, (3) upravljanje zalihama (raspodjela zalihe, procjena njihove veličine, određivanje vremena slanja narudžbi) – opisano u poglavlju Analitika u opskrbi i nabavi i niže u pododjeljku Odabrane metode upravljanja zalihama u opskrbnom lancu, (4) projektiranje i upravljanje skladišnim aktivnostima (maksimiziranje učinkovitosti skladišnog prostora) – opisano u pododjeljku Određivanje skladišnog prostora.

U kontekstu optimizacijskih modela postoji mnogo optimizacijskih metoda gdje se glavna klasifikacija ovih metoda temelji na vrsti optimizacijskog zadatka koji treba riješiti. Sljedeće **metode optimizacije** mogu se razlikovati prema (Jayarathna i dr., 2021; Kusiak i dr., 2021):

- vrsta problema koji se rješava: metode linearnog programiranja, metode nelinearne optimizacije,
- ograničenja: metode neograničene optimizacije, metode ograničene optimizacije,
- dimenzija problema (broj optimizacijskih varijabli): univarijatne metode, multivarijatne metode (više optimizacijskih varijabli),
- kriteriji optimizacije: jednokriterijske metode; višekriterijske metode.

U logistici se često razmatra broj kriterija, a zadaci optimizacije se formuliraju kao jednokriterijski ili višekriterijski. U praksi se obično rješavaju zadaci jednokriterijske optimizacije, uglavnom zbog jednostavnosti modela i lakoće njihove primjene. Zadaci optimizacije s više kriterija zahtijevaju složene modele, što često dovodi do situacija u kojima optimalno rješenje prema jednom kriteriju može negativno utjecati na ishod koji je usklađen s ciljem drugog kriterija. Kao rezultat toga, višekriterijska rješenja zahtijevaju postizanje kompromisa između različitih ciljnih funkcija, komplicirajući određivanje nedvosmisleno najboljeg, optimalnog rješenja (Smyk, 2023). Stoga je u traženju parcijalnih kriterija i ciljeva za optimizaciju logističkih zadataka važno osigurati da oni budu (Silva i dr., 2005):



- potpuni (utječući na određeni problem odlučivanja),
- nesuvišni,
- minimizirani (s ciljem smanjenja veličine problema odlučivanja),
- operativni (mjerljivi),
- diferenciranje rješenja (omogućuje identifikaciju najboljeg – optimalnog rješenja).

U poslovnim aktivnostima ključno je da kriterij optimizacije bude jasno definiran, a model optimizacije treba odgovarati temeljnoj prirodi analiziranog problema (Smyk, 2023). Ovaj kriterij se naziva funkcija cilja i odabire se u kontekstu odluke koja se donosi ili u početnoj fazi logističkog planiranja. Ova funkcija služi kao mjera za ocjenu kvalitete rješenja, pri čemu se optimalno rješenje postiže kada funkcija poprimi ekstrem (minimum ili maksimum) (Gupta i dr., 2022).

3.2. Uloga skladišta u opskrbnom lancu

U modernom logističkom sustavu svaka manipulacija materijalom podliježe temeljitoj provjeri već u fazi projektiranja. Čak i manji prijenosi robe na kratkim udaljenostima, koji se obično događaju unutar zgrade ili između objekta i transportnog posrednika, počinju igrati vrlo važnu ulogu. Skladište je namijenjeno 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 vještinama (Miszewski, 2019). Najbolji mogući smještaj robe u određenom prostoru omogućuje potpunije iskorištenje ograničenog kapaciteta objekta i smanjuje broj manipulacija određenom zalihom (Ghiani, 2004; Muller, 2002).

U kontekstu opskrbnog lanca, 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 temeljne važnosti za učinkovito upravljanje zalihama, omogućavajući minimiziranje rizika manjka i viškova, čime se održava ravnoteža između potražnje i ponude. Štoviše, skladište ima važnu ulogu u procesu kontrole kvalitete, nudeći mogućnost

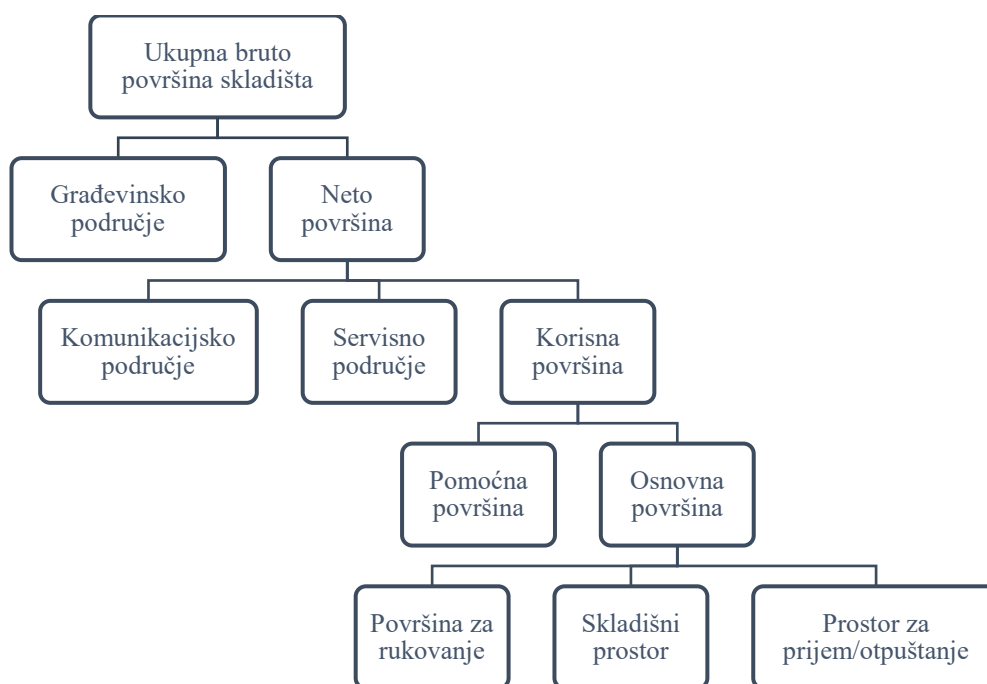


provjere i pripreme proizvoda za daljnju distribuciju, osiguravajući njihovu usklađenost sa standardima i očekivanjima kupaca. Uvođenje suvremenih **sustava upravljanja skladištem** (engl. *Warehouse Management System, WMS*) pridonosi značajnoj optimizaciji logističkih procesa, što zauzvrat povećava učinkovitost poslovanja i omogućava smanjenje operativnih troškova. Konačno, skladišta su iznimno važna u prilagodbi opskrbnog lanca tržišnim uvjetima koji se dinamički mijenjaju, omogućujući organizacijama da brzo odgovore na evoluciju potražnje i promjenjive preferencije potrošača, što je ključno u održavanju tržišne konkurentnosti (Gu i dr., 2007; Ramaa i dr., 2012).

3.3. Određivanje skladišnog prostora

Osnovni zahtjevi u skladišnim operacijama uključuju primanje **jedinica za čuvanje zaliha** (engl. *Stock Keeping Unit, SKU*) od dobavljača, skladištenje SKU-ova, primanje narudžbi od kupaca, odabir SKU-ova i njihovo sastavljanje za otpremu te slanje dovršenih narudžbi kupcima. Projektiranje i rad skladišta koje ispunjava te zahtjeve 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 zahtjeve sustava u smislu kapaciteta, protoka i usluge uz minimalnu cijenu resursa. Skladištenje se bavi organizacijom robe u skladištu kako bi se postigla visoka iskoristivost prostora i omogućio učinkovit transport materijala (Gu i dr., 2007).

Funkciju skladištenja oblikuju tri osnovne odluke: koliko zaliha određenog SKU-a treba biti pohranjeno u skladištu; koliko često i u koje vrijeme treba nadopunjavati zalihe za SKU; i gdje se unutar skladišta SKU treba skladištiti, distribuirati i premještati 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 kriterija za donošenje odluka o raspodjeli skladišnih zona su učinkovitost skladištenja, koja odgovara skladišnom kapacitetu, i učinkovitost pristupa, koja odgovara resursima potrošenim prodajom i ispunjavanjem narudžbi (Gu i dr., 2007).



Slika 3. 1. Podjela skladišnog prostora

Izvor: (Dudziński i Kizyn, 2002).

Izračun skladišnog prostora zahtijeva razmatranje njegovih različitih vrsta (slika 3.1). U poduzeću je korisna površina podijeljena na zone koje odgovaraju fazama skladišnog procesa: prijem, skladištenje (kratkoročno i dugotrajno), komisioniranje, otprema, kao i manipulativni i pomoćni prostor. Veličina i oblik skladišta ovise o sljedećim varijablama:

- vrste, broj i dimenzije mjesta na kojima se obavljaju skladišni poslovi u prihvatnoj i otpremnoj zoni,
- dimenzije i količine skladišnih polja u skladišnom prostoru,
- dimenzije i količine površina za odlaganje,
- parametri redova polica i broj stupaca u redovima,
- širina radnog prolaza za odabrani viličar,
- širina komunikacijskih putova za opremu i osoblje.

Ukupna površina skladišta S može se izraziti formulom:

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



gdje:

f_s – skladišni prostor,

f_{str} – pomoćni prostor,

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

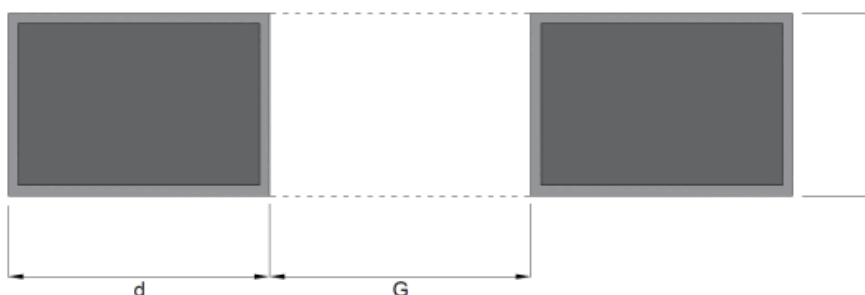
f_d – površina koju zauzimaju prolazi i prilazi,

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 okomitim rasporedom paletiziranih LU

Izvor: vlastita studija

Dio skladišnog prostora koji uključuje horizontalnu projekciju najmanjeg ponovljivog dijela dvaju redova ili blokova teretnih jedinica (engl. *Load Unit*, LU) zajedno s prostorima za rukovanje za skladištenje i manipulativnim putem između njih je skladišni modul. Usvajanje ove veličine omogućuje procjenu 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 paletiziranih LU

Izvor: vlastita studija

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

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

gdje:

d – širina odlagališta [m],

G – širina puta za rukovanje [m],

l – duljina skladišnog polja [m].

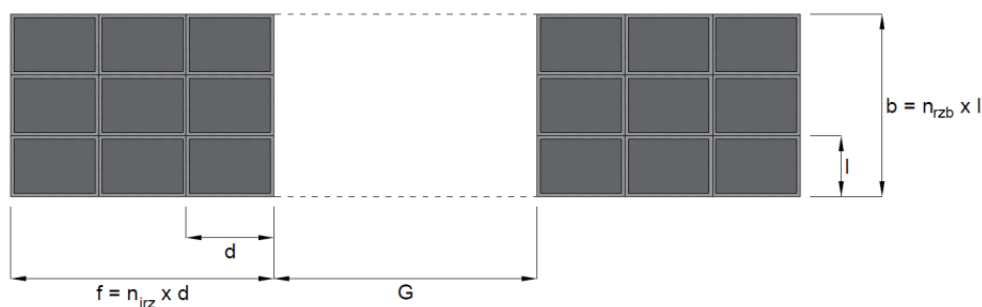
Kapacitet modula jednak je 2 paletizirane jedinice tereta za jednoetažno skladištenje i $2 \times n$ paletiziranih jedinica tereta za složeno skladištenje pri slaganju u n razina.



Formula koja se koristi u Excelu :

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

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: vlastita studija

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

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

gdje:

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

Kapacitet modula jednak je $2 \times n_{LUz} \times n_{LUb}$ paletiziranih tovarnih jedinica za jednu razinu skladištenje i $2 \times n_{LUz} \times n_{LUb} \times n$ paletiziranih teretnih jedinica za naslagano skladištenje pri slaganju u n razina.



Formula koja se koristi u Excelu :

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



Dodatno, volumen se može izračunati za module za pohranu – uzimajući u obzir visinu jedinice za utovar ili kada su jedinice za utovar složene. Volumen **skladišnog modula** (kapacitet modula) ovisi o njegovoj površini (Mb) i visini na kojoj je formirana tovarna jedinica (h). Volumen modula izračunava se prema formuli :

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

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

gdje:

f – širina bloka [m],

G – širina puta rukovanja [m],

b – duljina bloka [m],

h – visoko paletizirano opterećenje jedinice [m],

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

h_o – visina zbirne ambalaže [m],

h_p – visina medija [m].

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



Formula koja se koristi u Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{širina bloka}] + [\text{širina puta rukovanja}]) * [\text{duljina bloka}]\} * [\text{visoka paleta opterećenje jedinice}]$$

Volumen **skladišnog modula** (kapacitet modula) ovisi o njegovoj površini (Mb) i visini do koje je formirana jedinica tereta (H). Volumen modula izračunava se pomoću formule:

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

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

gdje:

f – širina bloka [m],



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



Formula koja se koristi u Excelu:

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

Iskorištenost skladišnog prostora procjenjuje se omjerom iskorištene površine prema ukupnoj raspoloživoj površini. U skladištima u kojima se ne koriste paletni regali, postizanje najveće vrijednosti ovog pokazatelja osigurava se skladištenjem materijala u blok rasporedu, s vrijednostima iskorištenja prostora od 0,6 do 0,8. Za usporedbu, ovaj pokazatelj za raspored skladišta reda kreće se od 0,25 do 0,6. Težnja ka optimizaciji iskorištenosti prostora kod ovakvog tipa skladišta dovodi do ograničenja u uvjetima slaganja materijala i nedostupnosti asortimana koji se nalazi u sredini blokova, te je primjenjiv samo za homogene asortimane, bez dodatnih financijskih izdataka za opremanje skladišta. U slučajevima kada je jedini kriterij vrednovanja povećanje količine uskladištenog asortimana, dobrim rješenjem se pokazuje korištenje protočnih paletnih regala. Omogućuju visoku stopu iskorištenja zbog ograničenja broja transportnih putova, ali istovremeno zahtijevaju korištenje FIFO (engl. *First In, First Out*) principa. Maksimalna iskorištenost raspoloživog skladišnog prostora moguća je zahvaljujući korištenju metode skladištenja slobodnog prostora, koja pretpostavlja da se asortiman može smjestiti u bilo koji slobodni regalni prostor (Kisielewski i Talarek, 2020).



3.4. Odabrane metode upravljanja zalihama u opskrbnom lancu

Upravljanje zalihama u opskrbnom lancu ključni je element koji osigurava operativnu fluidnost, smanjenje troškova i zadovoljstvo kupaca. Postoje mnoge metode upravljanja zalihama, od kojih svaka može biti prikladna ovisno o specifičnostima industrije, karakteristikama proizvoda, dinamici potražnje i drugim operativnim čimbenicima (Cyplik i Hadaś, 2012).

Klasični koncept upravljanja zalihama omogućuje upravljanje zalihama u distribucijskoj mreži, gdje se one obično nalaze na različitim mjestima. Rješavanje problema zaliha smještenih na više lokacija prvenstveno se fokusira na analizu veličine sigurnosnih zaliha (Mascle i Gosse, 2014). Sigurnosne zalihe ovise o varijabilnosti potražnje u ciklusu nadopunjavanja zaliha, izražene kao standardna devijacija potražnje u tom razdoblju i faktor sigurnosti ovisan o usvojenoj razini usluge. Ako se pretpostavi ista razina usluge za različite lokacije skladištenja inventara, tada razina sigurnosne zalihe ovisi o varijabilnosti potražnje koja se opslužuje s dane lokacije. U formulama se pretpostavlja da je na svim servisnim točkama tržišta usvojena ista razina usluge ($\omega_{MR1} = \omega_{MR2} = \omega_{MR3} = \dots = \omega_{MC}$) i isti sustav nadopunjavanja zaliha usvojeni su na svim servisnim mjestima na tržišnici (Cyplik i Hadaś, 2012).

Sigurnosne zalihe ovise o varijabilnosti potražnje u ciklusu nadopunjavanja zaliha, izraženoj standardnom devijacijom potražnje u tom razdoblju, te faktoru sigurnosti ovisnom o usvojenoj razini usluge. Ako se pretpostavi ista razina usluge za različite lokacije skladištenja zaliha, razina sigurnosne zalihe ovisi o varijabilnosti potražnje koja se opslužuje s dane lokacije. Problem nije izračunavanje ukupne potražnje u slučaju više točaka lokacije potražnje (ukupna potražnja je zbroj prosječnih potražnja na svakoj lokaciji). Za izračun standardne devijacije zbroja zahtjeva treba koristiti zakon kvadratnog korijena, koji pretpostavlja da je standardna devijacija zbroja zahtjeva jednaka kvadratnom korijenu zbroja njihovih standardnih odstupanja. Ispod su formule koje omogućuju ove izračune. Dobiveni rezultati bit će točni pod pretpostavkom da su ista razina usluge ($\omega_{L1} = \omega_{L2} = \omega_{L3} = \dots = \omega$) i isti sustav nadopunjavanja zaliha usvojeni u svim servisnim točkama na tržištu (Cyplik i Hadaś, 2012).



Formula za izračun sigurnosne zalihe:

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

Formula za izračunavanje standardne devijacije zbroja zahtjeva:

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

gdje:

n – broj lokalizacije,

D_n – vrijednost individualne potražnje u n lokalizaciji.

Ukupna sigurnosna zaliha za potražnju kojom se rukuje npr. iz središnjeg skladišta može se izračunati kao:

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

gdje:

S_{ST} – ukupna sigurnosna zaliha,

S_{SLn} – sigurnosna zaliha na n lokaciji.

U posebnom slučaju, ako je sigurnosna zaliha na svim točkama na lokaciji ista (općenito kao rezultat iste potražnje koju opslužuje svaka od ovih točaka) i jednaka je S_{STn} , tada je centralizirana zaliha S_{STD} jednaka :

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

gdje je n broj točaka lokacije skladišta.



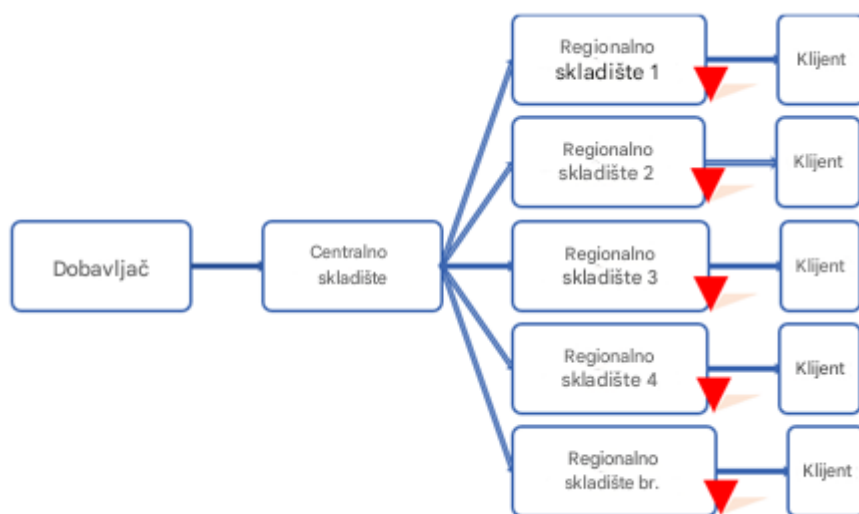
Formula koja se koristi u Excelu:

$$\text{SST} = [\text{faktor sigurnosti}] * [\text{standardna devijacija zbroja zahtjeva u točkama D1-Dn u ciklusu nadopune}] = [\text{faktor sigurnosti}] * \text{SQRT}[(\text{STDEV.P}([\text{raspon ćelija za D1}])^2) + (\text{STDEV.P}([\text{raspon ćelija za D2}])^2) + \dots + (\text{STDEV.P}([\text{raspon ćelija za Dn }])^2)]$$

Jedno od pitanja koje zahtijeva analizu u kontekstu optimizacije opskrbnog lanca je lokacija skladišta, uzimajući u obzir odnos između značajnih parametara. Način smještaja zaliha može se promatrati na dva načina – kao disperzirana zaliha ili centralizirana zaliha.

U slučaju disperziranih zaliha (slika 3.5), kupci se opslužuju izravno iz zaliha koje se nalaze u regionalnim skladištima (engl. Regional Warehouse, RW), gdje se održavaju sigurnosne zalihe. U svrhu izračuna, napravljene su sljedeće pretpostavke (Kżyżaniak, 2006):

- potražnja je ravnomjerno raspoređena na n regionalnih skladišta,
- tjedna potražnja u svakom od ovih skladišta može se opisati distribucijom s prosječnom potražnjom od D_{RW} i standardnom devijacijom σ_{DRW} ,
- nabavna cijena od dobavljača jednaka je P ,
- koeficijent tjednog knjigovodstvenog troška zaliha je u_t i isti je u svim skladištima,
- vrijeme ciklusa dopune u regionalnim skladištima je jednako za svako skladište i iznosi T_I (bez značajnijih odstupanja).



Slika 3. 5. Ilustracija slučaja distribuiranog zalihaa

Izvor: (Krzyżaniak, 2006).

S obzirom na pretpostavke, ukupni tjedni trošak održavanja sigurnosne zalihe u mreži jednak je:

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

Ravnomjernom raspodjelom potražnje po svim skladištima dobivamo:

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

gdje:

ω – faktor sigurnosti, ovisan o odabranoj razini usluge i vrsti distribucije koji opisuje zadanu frekvencijsku distribuciju potražnje,

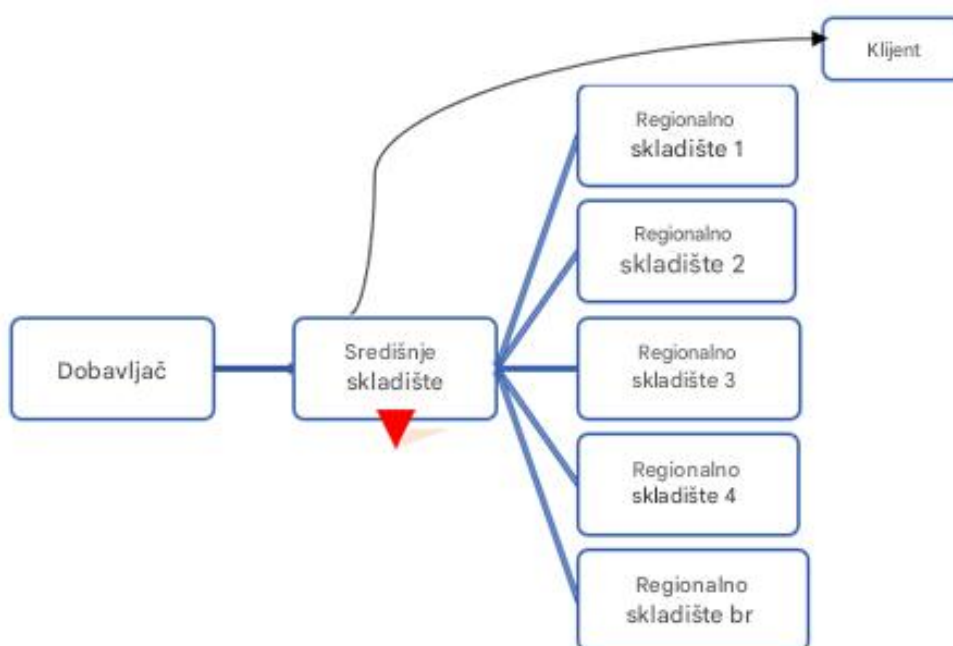
SS_{RW} – sigurnosne zalihe u svakom regionalnom skladištu.

Budući da je $\sigma_{DRW} = V \times D_{RW}$, gdje 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 općem modelu za centraliziranu zalihu (Sl. 3.6), kupci se opslužuju iz središnjeg skladišta (engl. Central Warehouse, CW) izravnim isporukama, kao što su kurirske pošiljke. U svrhu izračuna, napravljene su sljedeće pretpostavke (Krzyżaniak, 2006):

- tjedna potražnja u središnjem skladištu zbroj je potražnje promatrane na tržištima povezanim s pojedinačnim regionalnim skladištima i može se opisati distribucijom s prosječnom $D_{CW} = n \cdot D_{RW}$ i standardnom devijacijom $\sigma_{DCW} = \sigma_{DRW} \times \sqrt{n}$ (prema zakonu kvadratnog korijena),
- koeficijent tjednog knjigovodstvenog troška zaliha u_t je isti kao za regionalna skladišta,
- vrijeme ciklusa dopune u centralnom skladištu je T_2 ,
- u slučaju zahtjeva kupaca, proizvod se isporučuje izravno kupcu u obliku kurirske pošiljke s jediničnim troškom c_{cs} , čime se održava slično vrijeme izvršenja narudžbe kupca kao i u slučaju usluge iz regionalnih skladišta.



Slika 3. 6. Ilustracija slučaja centraliziranog popisa

Izvor: (Krzyżaniak, 2006)



Tjedni trošak održavanja sigurnosne zalihe u središnjem 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 $\sigma_{DRW} = V \times D_{RW}$, gdje je V takozvani koeficijent varijacije $V = \frac{\sigma_P}{D}$, tada uzorak ima oblik:

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

Vrijedno je napomenuti da pretpostavka $T_2 = \alpha \times T_1$ uzima u obzir različita rješenja za organiziranje dostava za oba slučaja. Na primjer, u slučaju distribuiranih zaliha, isporuke regionalnim skladištima mogu se provoditi prema sustavu periodičnog pregleda, te u centraliziranom sustavu koji se temelji na tzv. točki ponovnog naručivanja (informacijska razina). Može se pretpostaviti da će se to obično dogoditi $T_2 < T_1$.

Ukupni tjedni izravni kurirski troškovi za kupca jednaki su:

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

Postavljajući pitanje kada je isplativo disperzirati zalihe, odnosno kada će biti jeftinije održavati sigurnosne zalihe u n regionalnih skladišta i iz njih opsluživati lokalne kupce nego koncentrirati zalihe u centralno skladište i ispunjavati narudžbe kupaca izravnim isporukama, odgovor se svodi na rješavanje 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 dobivamo:

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



Iz ovog oblika dobivamo ovisnosti čije ispunjenje jamči ispunjenje nejednakosti $C_1 < C_{2(SS)} + C_{2(zalihe)}$ i nametnuti uvjet:

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

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 sljedeći odnos jer kombinira sve troškovne elemente u izrazu na lijevoj strani nejednakosti, a na desnoj strani parametre koji se odnose na implementaciju i traženu razinu 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 sljedeće:

- jednostavnost i jasnoća – lako ih je razumjeti i implementirati,
- pomoć u minimiziranju ukupnih troškova upravljanja zalihama balansiranjem troškova naručivanja i držanja zaliha, s ciljem ekonomske količine narudžbe,
- jasni i definirani procesi donošenja odluka koji pomažu upravljati narudžbama i zalihama na temelju izračuna i unaprijed definiranih pravila.

Slabosti klasičnog koncepta upravljanja zalihama uključuju:

- potreba za pretpostavkom stalne i predvidljive potražnje, koja ne odgovara uvijek dinamičnoj i promjenjivoj tržišnoj stvarnosti.
- ne uzimajući u obzir varijabilnost potražnje i rizik u opskrbnom lancu (npr. kašnjenja isporuke, tržišne promjene),
- nedostatak fleksibilnosti u odgovoru na brze promjene na tržištu ili opskrbnom lancu, budući da se temelje na fiksnim parametrima i ne predviđaju dinamičku prilagodbu novim uvjetima.



Klasični koncept upravljanja zalihama ima svoje mjesto u teoriji i praksi operativnog menadžmenta, no u suvremenom poslovnom svijetu koji se brzo mijenja često se nadopunjuje naprednijim i fleksibilnijim metodama i analitičkim alatima.

DRP (Planiranje distribucijskih potreba, engl. *Distribution Requirements Planning*) – koordinira potražnju s razinama zaliha na različitim lokacijama. To je jedna od metoda optimiziranja upravljanja isporukama finalnih proizvoda u distribucijsku mrežu i koristi se za planiranje razine i lokacije skladištenja zaliha kroz opskrbni lanac. Svrha korištenja metode planiranja distribucijske potražnje je smanjenje zaliha u distribucijskoj mreži (Nugroho, 2019). Na razini prodajnih mjesta, 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 najnižoj razini (npr. na maloprodajnom mjestu) i završava na najvišoj razini (npr. u tvorničkom skladištu). Potrebe na nižoj razini su ulazni podaci za sljedeću razinu. Potražnja s najviše razine može se koristiti kao ulazni podatak za rad na rasporedu proizvodnje (Fertsch, 2006). Potražnja iz distribucijskih centara koristi se za izradu rasporeda potražnje zaliha i prosljeđuje se u proizvodnju. Nakon usporedbe s prethodnim predviđanjima, razvija se proizvodni plan, materijalni zahtjevi i distribucija s rasporedom isporuke pojedinačnim distribucijskim centrima (Ngatilah i dr., 2020). Zahvaljujući DRP-u, određuje se razina usluge za karike opskrbnog lanca koje imaju izravan kontakt s kupcem (veličina serije, dostupnost zaliha, rokovi isporuke) (Fechner, 2007).

DRP sustav omogućuje procjenu rasporeda isporuke za svaku jedinicu zaliha (SKU) do prodajnih mjesta i pri tome zahtijeva posjedovanje sljedećih informacija (Mukhsin i Sobirin, 2022):

- struktura distribucijskog kanala kroz koji teče SKU,
- predviđanje potražnje za pojedinačnim SKU-ovima na razini prodajnog mjesta,
- trenutačnu razinu zaliha (zalihe u ruci) danog SKU-a,
- ciljna razina sigurnosnih zaliha,
- iznos preporučenog nadopunjavanja,
- vrijeme dostave za nadopunjavanje.



DRP algoritam (Ngatilah i dr., 2020):

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

$$\text{Projicirano u blagajni}_{(t)} = (\text{u ruci}_{(t-1)} + \text{Planirani primitak}_{(t)} + \text{Planirani primitak narudžbe}_{(t)} - \text{Bruto potreba}_{(t)})$$

Neto zahtjev može se izračunati pomoću formule ispod:

$$\text{Neto potrebe}_{(t)} = (\text{Bruto potrebe}_{(t)} + \text{Sigurnosne zalihe}) - (\text{Planirani primitak}_{(t)} + \text{Projicirana blagajna}_{(t-1)})$$

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

3. Kompenzacija je količina narudžbe koja se planira naručiti u planiranom vremenskom razdoblju. Kompenzacija u DRP-u predstavljen planiranim izdavanjem narudžbe (engl. *Plan Order Release*, Porel). Porel je Porec koji je prilagođen u skladu s nalogom za vrijeme dostave ili proizvodnji.

4. Eksplozija – ukupni trošak zaliha i distribucije može se dobiti koristeći donju formulu:

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

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

- poboljšana koordinacija u opskrbnom lancu kroz bolji protok informacija i robe od proizvođača do potrošača, što dovodi do učinkovitije distribucije,



- povećana točnost predviđanja, budući da uzima u obzir stvarne podatke o narudžbi i razine zaliha u cijelom lancu, što pomaže optimizirati razine zaliha i smanjiti troškove,
- poboljšana dostupnost proizvoda osiguravanjem da su zalihe smještene tamo gdje su najpotrebnije, čime se smanjuje rizik od nestašica i prekida proizvodnje.

Slabosti DRP modela povezane su sa sljedećim elementima:

- složenost implementacije, posebno u velikim organizacijama s razgranatim opskrbnim lancima, što zahtijeva precizno planiranje i koordinaciju,
- visoki početni troškovi vezani uz kupnju softvera, hardvera i obuku zaposlenika,
- ovisnost o točnosti i pravodobnosti ulaznih podataka, netočnosti u podacima mogu dovesti do pogrešaka u predviđanju i planiranju, što u konačnici može uzrokovati prekomjerne ili nedovoljne zalihe.

Unatoč svojim prednostima, DRP model zahtijeva precizno izvršenje i kontinuirano upravljanje kako bi se učinkovito poduprle operativne odluke unutar opskrbnog lanca.

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

- mjesečna ili godišnja potražnja za naručenim proizvodom je poznata i predvidljiva,
- proizvod se isporučuje vrlo brzo nakon narudžbe,
- trošak narudžbe jedinice je fiksni.

Wilsonova formula koristi se za izračun ekonomske količine narudžbe (Krzyżaniak, 2005; Muckstadt, 2010).



Formula za izračun EOQ:

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

gdje:

D – očekivana potražnja u dužem vremenskom razdoblju,

C_S – trošak naručivanja – kupnja jedne serije, neovisno o njezinoj veličini,

C_K – trošak držanja jedne jedinice određenog proizvoda na zalihama tijekom određenog vremenskog razdoblja, najčešće definiran kao određeni dio nabavne cijene, pa stoga:

$$C_K = \mu_o \times P$$

P – nabavna cijena,

μ_o – postotak troška održavanja u nabavnoj cijeni.



Formula koja se koristi u Excelu:

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

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 narudžbi, ali zahtijeva točne podatke o troškovima i potražnji. Snage EOQ modela su:

- minimiziranje ukupnih troškova – EOQ identificira količinu narudžbe koja optimizira ravnotežu između troškova narudžbe i troškova skladištenja, s ciljem minimiziranja ukupnih troškova povezanih sa zalihama,
- povećana operativna učinkovitost – uspostavljanjem optimalnog rasporeda narudžbi, EOQ model omogućuje bolje planiranje i upravljanje resursima, što se prevodi u glađe operacije i manju vjerojatnost prekida proizvodnje uzrokovanih nedostatkom ili viškom zaliha,



- pojednostavljenje procesa donošenja odluka u upravljanju zalihama – EOQ daje jasne smjernice o tome kada i koliko naručiti, što pomaže u standardizaciji procesa nabave i može smanjiti potrebu za kontinuiranim praćenjem i donošenjem odluka u vezi s razinama zaliha.

Međutim, EOQ model zahtijeva usvajanje određenih pretpostavki koje su povezane sa sljedećim nedostacima:

- pretpostavka potrebe za stalnom potražnjom – EOQ pretpostavlja da je potražnja za proizvodom konstantna i predvidljiva u svakom trenutku; u stvarnosti, potražnja je često promjenjiva i pod utjecajem sezonalnosti, tržišnih trendova, konkurentskih radnji i drugih vanjskih čimbenika, koji točnu primjenu EOQ modela mogu učiniti izazovnom u dinamičnim tržišnim uvjetima,
- potreba za pretpostavkom fiksnih troškova naručivanja i držanja – u praksi ti troškovi mogu varirati na temelju mnogih čimbenika, kao što su promjene u cijenama materijala, troškovi transporta, cijene najma skladišta, promjene stope rada ili inflacija,
- nedostatak fleksibilnosti u odgovoru na promjene – EOQ model generira fiksni broj narudžbi za određeno razdoblje i ne predviđa automatske prilagodbe tržišnim ili operativnim uvjetima koji se brzo mijenjaju; to znači da je potrebno ručno pregledati i prilagoditi EOQ narudžbe kako bi se izbjeglo prekomjerno nakupljanje zaliha ili rizik od zaliha, što može biti dugotrajno i komplicirano.

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

3.5. Korištenje alata Solver u rješavanju optimizacijskih problema

Solver je dodatak za Microsoft Excel koji se koristi za naprednu analizu i rješavanje optimizacijskih problema. Korisnicima omogućuje definiranje višestrukih varijabli odlučivanja,



ograničenja i ciljeva, a zatim koristi različite matematičke metode za pronalaženje optimalnih rješenja (vidi poglavlje Uvod u analizu proračunskih tablica). Posebno je koristan u situacijama koje zahtijevaju složene proračune, kao što je planiranje logističkog puta, raspodjela resursa ili optimizacija proračuna (Bomba i Kwiecień, 2012; Mason, 2013).

Solver se koristi za rješavanje jednokriterijskih zadataka optimizacije gdje broj varijabli odluke ne prelazi 200. Njegova primjena zahtijeva izradu matematičkog modela unutar radnog prostora proračunske tablice. Optimizacijski model sastoji se od tri elementa (Baj-Rogowska, 2013; Mason, 2012):

- ciljne ćelije (ciljna funkcija) – to su ćelije u modelu proračunske tablice koje, kada se primijeni Solver, trebaju minimizirati, maksimizirati ili postaviti na određenu vrijednost realnog broja,
- varijabilne ćelije (varijable odluke) – to su ćelije koje sadrže tražene vrijednosti, koje se dodatkom Solver iterativno mijenjaju i supstituiraju u funkciju cilja dok se ne pronađe optimalno rješenje,
- ćelije ograničenja (mogu se primijeniti na vrijednost ćelije cilja i ćelija varijable) – uvedeni uvjeti ograničenja u obliku formula unutar ćelija proračunske tablice, gdje vrijednost mora biti unutar zadanih granica ili doseći ciljane vrijednosti.

Solver u Excelu koristi različite metode optimizacije kako bi pronašao najbolja rješenja za definirane probleme. Svaka metoda ima svoje specifične primjene i odabire se na temelju prirode problema optimizacije. Solver omogućuje korisniku odabir odgovarajuće metode ovisno o karakteristikama problema koji se rješava. Glavne metode uključuju (Baj-Rogowska, 2013; Delgado-Aguilar i dr., 2018):

- Simpleksna metoda (Simplex LP) – ovo je najčešće korištena metoda za rješavanje problema linearnog programiranja (LP); učinkovit je u situacijama gdje su funkcija cilja i sva ograničenja linearna,
- GRG metoda (Generalizirani smanjeni gradijent) – to je napredna metoda koja se koristi za rješavanje nelinearnih problema; osobito je korisna kada su ciljna funkcija ili ograničenja nelinearni, ali još uvijek kontinuirani i diferencijabilni,



- Evolucijska metoda – koristi se za rješavanje problema globalne optimizacije, posebno kada je ciljna funkcija složena, nelinearna i diskontinuirana; evolucijska metoda koristi tehnike slične genetskim algoritmima, istražujući različita moguća rješenja kako bi pronašla najbolje,
- Cjelobrojna ograničenja– Solver se može koristiti za rješavanje problema u kojima neke ili sve varijable odluke moraju imati cjelobrojne vrijednosti; ovo je korisno u situacijama kada rješenja zahtijevaju diskretne vrijednosti, kao što je broj jedinica za proizvodnju ili broj zaposlenika za zapošljavanje.

Solver u optimizaciji opskrbnog lanca doprinosi 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 zahtijevaju analizu višestrukih varijabli i ograničenja, gdje tradicionalne metode mogu biti nedostatne ili oduzimati previše vremena.

3.6. Optimiziranje korištenja skladišnog prostora – primjer korištenja alata Solver

Sadržaj zadatka

Tvrtka Alfa ima skladište ukupne površine 10.000 m², koje mora primiti tri vrste proizvoda: A, B i C. Svaki od ovih proizvoda ima različite zahtjeve za skladišnim prostorom, ima svoju specifičnu sigurnosnu zaliha i generira različitu dobit po jedinici proizvoda:

- proizvod A: zahtijeva 14 m² po jedinici, sigurnosna zaliha je 40 kom., stvara profit od 30 eura,
- proizvod B: zahtijeva 12 m² po jedinici, sigurnosna zaliha je 60 kom., stvara profit od 32 eura,
- proizvod C: zahtijeva 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 X: 332 kom.

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

Riješenje:

Ciljna funkcija: maksimiziranje ukupne dobiti od proizvoda.

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



- [1] priprema podatkovnog lista,
- [2] definiranje varijabli odlučivanja,
- [3] izračun pomoćnih varijabli,
- [4] određivanje funkcije cilja,
- [5] konfiguriranje Solvera,
- [6] indikacija metode optimizacije,
- [7] pokrenite Solver,
- [8] ocjena dobivenog rješenja.



Primjer u Excelu:

- [1] Pripremiti i popuniti tablicu s ulaznim podacima iz zadatka: sigurnosna zaliha 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] Definirajte 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])
- **Zbroj 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 vrijednosti 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 <= 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	20
		220	200	200			
Realized demand		0	0	0			

Add Constraint

Cell Reference: Constraint:

OK Add Cancel

- 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

Add Constraint

Cell Reference: Constraint:

OK Add Cancel

- 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 gumb Rješavanje

[8] Procijenite rješenje 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 poduzeću?
2. Kako odabir odgovarajuće metode optimizacije utječe 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-Tulecka, 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*.



4. KONTROLING U UPRAVLJANJU OPSKRBNIM LANCEM



U ovom poglavlju prikazana su ključna pitanja vezana uz kontroling u upravljanju opskrbnim lancem. Poseban naglasak je stavljen na analizu logističkih podataka, koja se može provesti pomoću proračunske tablice. Ovdje ćete pronaći :

- koncept kontrolinga,
- ciljevi i opseg kontrolinga u opskrbnom lancu,
- osnovni ključni pokazatelji uspješnosti (KPI) u opskrbnom lancu.

4.1. Uvod

Kontroling se može definirati identificiranjem njegove glavne zadaće, a to je osigurati planiranje, kontrolu i praćenje aktivnosti poduzeća usmjereno na rezultate na temelju računovodstvenih i financijskih podataka (Hahn, 1987). Kontroling se može opisati kao "sustav međusobno dogovorenih mjera, principa, ciljeva, metoda i tehnika koji služi internoj kontroli i upravljanju ciljevima povezanim s ishodom" (Nowak, 2015). **Kontroling u opskrbnom lancu** je proces upravljanja i optimizacije financijskih, materijalnih i informacijskih tokova kroz opskrbni lanac (Chopra i Meindl, 2007). Kontroling opskrbnog lanca **uključuje** analizu podataka, predviđanje, praćenje učinka i korektivne intervencije, što omogućuje kontinuiranu prilagodbu aktivnosti promjenjivim tržišnim i operativnim uvjetima (Cigolini i dr., 2004). Postoje razlike između kontrolinga opskrbnog lanca i kontrolinga poduzeća, kao što je prikazano u tablici 4.1.



Tablica 4. 1. Razlike između kontrolinga u opskrbnom lancu iu poduzeću

Razlikovanje kriterij	Kontroling u opskrbi lanac	Kontroling u poduzeću
Raspon aktivnosti	uključuje upravljanje i koordinaciju aktivnosti u mnogim neovisnim organizacijama koje surađuju u proizvodnji i isporuci proizvoda krajnjem primatelju	fokusira se na unutarnje procese jedne organizacije, fokusirajući se na optimizaciju i operativnu učinkovitost unutar samog poduzeća
Strateški cilj	nastoji optimizirati cijeli proces od dobavljača do kupaca, fokusirajući se na integraciju i sinkronizaciju aktivnosti između različitih subjekata	fokusiran je na postizanje financijskih i operativnih ciljeva samog poduzeća, kao što su profitabilnost, operativna učinkovitost i usklađenost s proračunom
Područja intervencije	bavi se aspektima kao što su vrijeme ispunjenja narudžbe, troškovi logistike, kvaliteta suradnje između partnera i upravljanje zalihama na razini cijelog lanca	može se usredotočiti na kontrolu internih troškova, analizu profitabilnosti proizvoda ili odjela i optimizaciju poslovnih procesa unutar tvrtke
Alati i metodologije koristi se	često koristi napredne IT sustave koji integriraju podatke iz različitih poduzeća, kao što su ERP ili SCM sustavi	mogu koristiti više alate i sustave usmjerene na tvrtku koji ne moraju nužno biti integrirani s vanjskim poslovnim partnerima

Izvor: (Mazur i dr., 2021; Nesterak i dr., 2020; Vollmuth, 2000).

Ukratko, kontroling u opskrbnom lancu zahtijeva holističkiji pristup upravljanju i koordinaciji aktivnosti od kontrolinga usmjerenog na jedno poduzeće, gdje je prioritet optimizacija internih poslovnih procesa.

U kontrolingu detaljne informacije o prošlosti nisu dovoljne; također je bitno razviti i implementirati nove koncepte, instrumente i alate koji daju precizne informacije o budućem razvoju poduzeća u opskrbnom lancu. Stoga je jedna od karakteristika kontroling sustava prisutnost dvije vrste povratne sprege (Nesterak, 2002):

- Davanje povratne informacije (engl. *feed-back*) – propis koji omogućuje prepoznavanje odstupanja u sustavu plan-izvedba i poduzimanje odgovarajućih



korektivnih i preventivnih radnji kako bi se izbjeglo odstupanje od postavljenog cilja,

- davanje povratne informacije unaprijed (engl. *feed-forward*) – shvaćen kao kontrola koja se odnosi na korištenje predviđenih količina i informacija o prošlim radnjama kako bi se odredilo koje vrste akcija treba poduzeti u budućnosti.

U ovoj perspektivi kontroling usmjerava buduće aktivnosti poduzeća stvaranjem sustava "ranog upozorenja". Ovaj sustav identificira signale koji mogu značajno utjecati na budućnost tvrtke i cjelokupnog opskrbnog lanca, što pak utječe na postizanje postavljenih ciljeva.

Kontroling lanca opskrbe ima za cilj postići ciljeve kroz integrirane analitičke, strateške i operativne aktivnosti koje obuhvaćaju unutarnje funkcije poduzeća i njegove interakcije s vanjskim partnerima u lancu opskrbe. **Ključni ciljevi kontrole lanca opskrbe** uključuju (Chopra i Meindl, 2007):

- Povećanje operativne učinkovitosti analizom procesa, optimizacijom tijeka rada i smanjenjem otpada, što poboljšava ukupnu izvedbu opskrbnog lanca,
- Smanjenje troškova, budući da kontrola i kontinuirano praćenje troškova unutar opskrbnog lanca pomaže identificirati područja u kojima se mogu postići uštede bez ugrožavanja kvalitete,
- Osiguravanje sukladnosti i kvalitete praćenjem i osiguravanjem poštivanja propisa i standarda kvalitete u cijelom opskrbnom lancu,
- Poboljšanje suradnje između partnera kroz bolje planiranje, komunikaciju i koordinaciju aktivnosti,
- Povećanje fleksibilnosti i otpornosti opskrbnog lanca razvijanjem sposobnosti brze prilagodbe tržišnim promjenama ili operativnim okruženjima i smanjenjem rizika od zastoja ili prekida,
- Optimiziranje upravljanja zalihama, koje uravnotežuje potrebe za smanjenjem troškova sa zahtjevima za dostupnošću proizvoda,
- Poboljšanje procesa donošenja odluka pružanjem ključnih podataka i analiza koje podržavaju strateške i taktičke upravljačke odluke,



- Osiguravanje kontinuiranog poboljšanja promicanjem kulture stalnog poboljšanja unutar opskrbnog lanca putem redovitih pregleda, procjena i ažuriranja procesa.

Ukratko, kontroling podržava provedbu strategija opskrbnog lanca pružanjem preciznih podataka i analiza koje pomažu u strateškom planiranju i optimizaciji procesa. Praćenjem pokazatelja u stvarnom vremenu omogućuje brze odgovore na promjenjive tržišne uvjete i potrebe kupaca. Dodatno, kontroling podupire upravljanje rizicima u opskrbnom lancu identificirajući potencijalne prijetnje i predlažući rješenja koja minimiziraju njihov utjecaj na postizanje postavljenih ciljeva.

4.2. Ključni pokazatelji uspješnosti u opskrbnom lancu

U literaturi se problematika kontrolinga opskrbnog lanca najčešće analizira iz perspektive korištenih alata. Bibliografski izvori pokazuju da najučinkovitiji alati za kontrolu uključuju obračun troškova na temelju aktivnosti, ciljni obračun troškova, sustave pokazatelja, uravnotežene tablice rezultata i usporednu analizu (Dobroszek, 2011; Guersola i dr., 2018). S obzirom kako se ova knjiga fokusira na korištenje proračunskih tablica u analizi logističkih podataka, ujedno se i naglašava analizu pokazatelja zbog njezine primjenjivosti u ovom alatu.

Ključni pokazatelji uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators*, KPI) koji se koriste u opskrbnim lancima bitan su alat za mjerenje i praćenje učinkovitosti i djelotvornosti aktivnosti unutar opskrbnog lanca. KPI-jevi se mogu kategorizirati na temelju stupa koji pokrivaju (Dobroszek, 2011):

- stup opskrbnog lanca – na ovoj se razini koriste pokazatelji koji se odnose na cijeli opskrbni lanac, kao što je ukupno vrijeme ispunjenja narudžbe u opskrbnom lancu, ukupni troškovi opskrbnog lanca i ciklus od gotovine do gotovine,
- stup partnerskih odnosa – na ovoj razini izračunavaju se pokazatelji koji odražavaju suradnju između poslovnih partnera i proizašle učinke, kao što je



odnos između dobavljača i trgovca; karakteristični pokazatelji u ovom području uključuju sposobnost ispunjenja isporuka i pouzdanost plaćanja trgovaca,

- pojedinačni gospodarski subjekt u stupu opskrbnog lanca – iako subjekti u opskrbnom lancu djeluju međusobno povezani i teže zajedničkom cilju, svaki bi trebao zasebno procjenjivati svoju gospodarsku aktivnost.

Najčešće korišteni ključni pokazatelji uspješnosti u opskrbnim lancima uključuju (Dias i Silva 2021; Lehyani i dr., 2018; Rasool i dr., 2023; Yurtay i dr., 2023):

- OTIF (engl. *On-Time In-Full*) – mjeri postotak narudžbi isporučenih kupcu na vrijeme i u cijelosti, prema njihovim specifikacijama.

Formula:



$$OTIF = \left(\frac{\text{broj narudžbi isporučenih na vrijeme i u punoj količini}}{\text{ukupan broj narudžbi}} \right) \times 100\%$$



Visoka razina implementacije OTIF-a ukazuje na učinkovitost upravljanja zalihama, planiranja proizvodnje, upravljanja vremenom transporta i točnosti u procesu prihvaćanja narudžbi.

Formula u Excelu:



$$OTIF = ([\text{broj narudžbi isporučenih na vrijeme i u punoj količini}] / [\text{ukupan broj narudžbi}]) * 100\%$$

- vrijeme obrade narudžbe LT (engl. *Lead Time, Order Fulfillment Time*) – mjeri vrijeme od prihvaćanja narudžbe do njezine isporuke kupcu.



Formula:

$$LT = \text{datum isporuke} - \text{datum prihvaćanja narudžbe}$$



Vrijeme isporuke uključuje:



- vrijeme pripreme narudžbe – vrijeme potrebno za obradu narudžbe u sustavu,
- vrijeme izrade – vrijeme potrebno za izradu ili pripremu naručenih proizvoda,
- rok isporuke – vrijeme koje protekne od trenutka kada je proizvod poslan kupcu do trenutka kada je proizvod zaprimljen.



Formula u Excelu:

$$LT = [\text{datum isporuke}] - [\text{datum prihvatanja narudžbe}]$$

- razina korisničke usluge – mjeri sposobnost organizacije da ispunji zahtjeve kupaca, često se definira kao postotak narudžbi ispunjenih bez grešaka (pogledajte poglavlje Upravljanje zalihami),
- Stopa dostupnosti zaliha (engl. *Inventory Availability*, IA) – postotak vremena u kojem su zalihe dostupne kupcima bez kašnjenja.

Formula:



$$IA = \left(\frac{\text{broj dana koliko je zaliha bila dostupna}}{\text{ukupan broj dana u razdoblju}} \right) \times 100\%$$

ili

$$IA = \left(\frac{\text{raspoloživa količina zaliha}}{\text{željena količina zaliha}} \right) \times 100\%$$



Indikator mjeri postotak dana ili slučajeva u kojima je zaliha bila dostupna za trenutno ispunjenje u odnosu na ukupnu potražnju ili broj dana u određenom razdoblju. To omogućuje procjenu koliko učinkovito tvrtka upravlja svojim zalihami u kontekstu ispunjavanja očekivanja kupaca.



Formula u Excelu:



$$IA = ([\text{broj dana koliko je zaliha bila dostupna}] / [\text{ukupan broj dana u razdoblju}]) * 100\%$$

ili

$$([\text{raspoloživa količina zaliha}] / [\text{željena količina zaliha}]) * 100\%$$

- omjer obrtaja zaliha (engl. *Inventory Turnover*) – mjeri koliko često tvrtka koristi i zamjenjuje zalihe u određenom razdoblju, pokazuje koliko učinkovito organizacija upravlja svojim resursima i odgovara na potražnju tržišta.

Formula:



$$IT = \left(\frac{\text{cijena prodane robe}}{\text{prosječna razina zaliha}} \right) \times 100\%$$



Previsok pokazatelj može ukazivati na rizik od manjka zaliha. Prenizak pokazatelj može značiti prevelike zalihe ili slabu prodaju. Idealna razina omjera obrtaja zaliha ovisi o djelatnosti i specifičnostima tvrtke, kao i o strategiji upravljanja opskrbnim lancem.



Formula u Excelu:

$$IT = ([\text{cijena prodane robe}] / [\text{prosječna razina zaliha}]) * 100\%$$

- Stopa povrata (engl. *Rate of Return*, RoR) – postotak proizvoda koje su kupci vratili u odnosu na ukupan broj prodanih proizvoda.

Formula:



$$RoR = \left(\frac{\text{broj vraćenih jedinica}}{\text{ukupan broj prodanih jedinica}} \right) \times 100\%$$



Visoka stopa povrata može ukazivati na probleme s kvalitetom proizvoda, odstupanja u opisima ili neispravno ispunjenje očekivanja kupaca, što negativno utječe na njihovo zadovoljstvo.



Ovaj pokazatelj pomaže tvrtkama u prepoznavanju problema u proizvodima ili procesima koje je možda potrebno poboljšati. Analiza razloga povrata može dovesti do promjena u proizvodnim procesima, poboljšane kvalitete proizvoda ili usluga te boljeg upravljanja zalihama i predviđanja.

Formula u Excelu:



$$\text{RoR} = ([\text{broj vraćenih jedinica}] / [\text{ukupan broj prodanih jedinica}]) * 100\%$$

- Indeks učinka dobavljača (engl. *supplier performance index*, SPI) – procjena i praćenje učinka dobavljača unutar opskrbnog lanca; utvrditi koliko dobavljači zadovoljavaju utvrđene kriterije, kao što su kvaliteta isporučenih proizvoda, isporuka na vrijeme ili sposobnost izvršavanja narudžbi bez grešaka (pogledajte poglavlje Analitika u području nabave i nabave). Formula:

$$SPI = \left(\frac{\text{zbroj bodova za sve kriterije}}{\text{maksimalni mogući broj bodova}} \right) \times 100\%$$



SPI se obično izračunava na temelju nekoliko pojedinačnih pokazatelja učinka, kao što su kvaliteta isporuke, pravodobnost i fleksibilnost. Bodovi se dodjeljuju na temelju ispunjavanja određenih kriterija, a najveći ukupni broj bodova odgovara idealnoj izvedbi dobavljača.



Formula u Excelu:

$$\text{SPI} = ([\text{zbroj bodova za sve kriterije}] / [\text{maksimalni mogući broj bodova}]) * 100\%$$

PITANJA POGLAVLJA

1. Koji su ključni ciljevi kontrolinga u opskrbnom lancu?
2. Koje se radnje poduzimaju unutar kontrolinga kako bi se smanjili troškovi u opskrbnom lancu?
3. Kako kontroling osigurava sukladnost i kvalitetu u opskrbnom lancu?

LITERATURA

Chopra, S., i Meindl, P. (2007). Supply chain management: Strategy, planning i operation, 265-275.

Cigolini, R., Cozzi, M., i Perona, M. (2004). A new framework for supply chain management: Conceptual model and empirical test. International Journal of Operations i Production Management, 24(1), 7-41.

Dias, G. P., i Silva, M. E. (2021). Revealing performance factors for supply chain sustainability: A systematic literature review from a social capital perspective. Brazilian Journal of Operations i Production Management, 19(1), 1-18.

Dobroszek, J. (2016). Rachunkowość zarządcza w zarządzaniu łańcuchem dostaw w świetle wyników badań literaturowych i ankietowych. Zeszyty Teoretyczne Rachunkowości, (89), 29-54.

Guersola, M., Lima, E.P.D., i Steiner, M.T.A. (2018). Supply chain performance measurement: A systematic literature review. International Journal of Logistics Systems i Management, 31(1), 109-131.



Hahn, D. (1987). Controlling—Stand und entwicklungstendenzen unter besonderer berücksichtigung des CIM-konzeptes. In Rechnungswesen und EDV: Controlling· Anwenderberichte· Neue Konzepte· Controlling-Systeme· Systemerfahrungen, 3-39.

Lehyani, F., Zouari, A., Ghorbel, A., i Tollenaere, M. (2021). Defining and measuring supply chain performance: A systematic literature review. Engineering Management Journal, 1-31.

Mazur, N., Khrystenko, L., Pásztorová, J., Zos-Kior, M., Hnatenko, I., Puzyrova, P., i Rubezhanska, V. (2021). Improvement of controlling in the financial management of enterprises. TEM Journal-Technology, Education, Management, Informatics.

Nesterak, J. (2002). Controlling-zarys idei. Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, 560, 73-88.

Nesterak, J., Jabłoński, M., i Kowalski, M. J. (2020). Controlling procesów w praktyce przedsiębiorstw działających w Polsce. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie.

Nowak, M. (2015). Controlling–koncepcja oraz metoda wspomagająca współpracę międzyorganizacyjną. Studia Ekonomiczne, 224, 173-184.

Rasool, F., Greco, M., i Strazzullo, S. (2023, September). Understanding the future KPI needs for digital supply chain. In Supply Chain Forum: An International Journal, 1-12.

Vollmuth, H.J. (2000). Controlling, planowanie, kontrola, kierowanie. Podstawy budowy systemu controllingu. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.

Yurtay, Y., Yurtay, N., Demirci, H., Zaimoglu, E. A., i Göksu, A. (2023). Improvement and implementation of sustainable key performance indicators in supply chain management: The case of a furniture firm. IEEE Access.



5. ANALITIKA U PODRUČJU NABAVE I KUPOVINE



U poglavlju se govori o nabavi i strategiji nabave. Jedan od najvažnijih izazova u ovom području je procjena i odabir pravih dobavljača.

Najvažnija pitanja o kojima se govori u ovom poglavlju uključuju :

- uloga i značaj nabave i kupovine,
- podjela nabave i strategije nabave,
- odabrane metode ocjenjivanja i odabira dobavljača.

5.1. Uvod

Nabava (logistika nabave) je dodijeljena i osnovnim i pomoćnim funkcijama. Pridonosi stjecanju konkurentske prednosti, između ostalog, odabirom dobavljača koji:

- nude visokokvalitetne sirovine po najnižoj mogućoj cijeni, pridonoseći povećanom zadovoljstvu kupaca,
- jamče inovativne tehnologije, što znači uvođenje novih rješenja i proizvoda na tržište,
- primjenjuju održive prakse koje smanjuju otpad i poboljšavaju imidž tvrtke.

Nabava omogućuje nabavu opreme, materijala i komponenti potrebnih za proizvodnju vlastitog gotovog proizvoda ili za prodaju robe sljedećim karikama u opskrbnom lancu. Logistika nabave također povezuje sudionike u opskrbnom lancu i osigurava željenu kvalitetu koju stvaraju dobavljači u tom lancu (Coyle, i dr., 2002). Nabava također uključuje aktivnosti vezane uz analizu raspoloživih (trenutačnih) zaliha materijala i komponenti kojima tvrtka raspolaže. Jednako važna aktivnost koja se obavlja u području logistike nabave je planiranje potreba za materijalima na temelju proizvodnih planova ili narudžbi kupaca te na temelju strukture (specifikacije) proizvoda koje tvrtka proizvodi. Nabava također uključuje nadzor i



reagiranje na promjene uvjeta isporuke (promjene datuma, asortimana, količine i sl). Dakle, to znači dobiti nešto na planski način.

Kupnja je, s druge strane, jedna od faza logistike nabave. To znači kupnja dobara i usluga. No, radi se o prilično uskoj percepciji nabave, koja nabavu tretira na način koji je odvojen od ostalih funkcija koje se obavljaju u poduzeću. Koncept kupnje treba shvatiti kao transakciju razmjene koja počinje kada su poznate materijalne potrebe (Kowalska, 2005). Prethodi mu odabir izvora nabave (dobavljač ili podizvođač) te aktivnosti koje se sastoje u pregovaranju cijena i roka izvršenja narudžbe. Kupnja je transakcija u kojoj kupac kupuje proizvod ili uslugu, a dobavljač za to prima plaćanje. Stoga uključuje četiri faze: (1) određivanje vrste kupnje; (2) određivanje potrebne razine izdataka; (3) provedba stvarnog procesa kupnje; (4) procjena učinkovitosti završenog procesa kupnje.

Pojmovi kupnja, nabava i nabavna kupnja često se tretiraju kao sinonimi. Međutim, treba imati na umu da se ovi pojmovi međusobno razlikuju – njihov opseg je različit. Kupnja je uži pojam od kupnje. Nabavna kupnja, s druge strane, odnosi se na nabavu dobara i usluga potrebnih za proizvodni proces.

Uloga i važnost kupnje i nabave u poduzeću uvelike ovisi o dostupnosti industrijske i komercijalne robe. Što su problemi i poteškoće u pronalasku i kupnji robe veći (npr. nestabilno tržište podložno sezonskim ciklusima, nestašicama i nestabilnostima cijena), to nabava i kupnja postaju više strateški. S druge strane, što je vrsta robe standardnija i općenito visoka dostupnost na tržištu, nabava i kupnja su manje važni. Ta je uloga također drugačija ako poduzeće ima značajan dio kapitala vezan za materijalna dobra. Povezani trošak znači da će učinkovitije upravljanje nabavom i kupnjom utjecati na bolje upravljanje kapitalom poduzeća i veće uštede. To znači da će se uloga nabave i kupnje povećati u poduzećima gdje je visok stupanj kapitalne intenzivnosti (udio troškova materijalnih dobara i povezanih operacija u gotovom proizvodu) ovog procesa.



5.2. Strategije nabave i kupnje – podjela prema izvorima nabave

S obzirom na moguće izvore nabave, može se razlikovati nekoliko različitih strategija nabave i kupnje. Mogu se razlikovati prema broju izvora nabave. U takvoj situaciji mogu se naznačiti sljedeće strategije (Grzybowska, 2011):

- jedan izvor nabave (jedan dobavljač, engl. *single sourcing*) znači da se na temelju utvrđenih kriterija odabire jedan dobavljač koji je odgovoran za opskrbu određene stavke asortimana ili asortimanske skupine. Ovo rješenje osigurava održavanje bliskih kontakata između primatelja i jednog dobavljača kojeg tvrtka odabere i preferira. Omogućuje izgradnju trajnih veza i odnosa između poslovnih partnera, često na temelju dugoročnog partnerstva i dogovora. Trajni odnosi, stabilnost suradnje te ujednačena kvaliteta isporučene robe ili usluge nedvojbene su prednosti ovog rješenja. Nedostatak primijenjene strategije je rizik vezan uz postojanje samo jednog dobavljača. To je prije svega rizik gubitka kontinuiteta opskrbe, što može biti uzrokovano poremećajima u opskrbnom lancu i rizikom da kupac postane ovisan o jednom dobavljaču. To je osobito slučaj kada je dobavljač monopolist. U posebnim slučajevima može doći do monopola dobavljača kada na tržištu ne postoje alternativni izvori nabave.
- dva izvora nabave (dva dobavljača, engl. *dual sourcing*) što znači kupnju od dva jednaka dobavljača koji opskrbljuju istu vrstu proizvodnog asortimana ili grupe proizvoda. Suradnja između kupca i dva dobavljača odvija se po principu 50-50 – podjela narudžbi i nabave ravnomjerno je raspoređena između njih. Strategija dvojne nabave također može imati oblik neravnomjerne podjele i diferencijacije suradnje između dva odabrana dobavljača. Ovo je strategija klackalice. Kao što naziv sugerira, ova strategija koristi princip klackalice distribucije narudžbi. Podjela nabave je neravnomjerna (npr. 70% jedan dobavljač, 30% drugi dobavljač). Omjeri narudžbi dodijeljenih dobavljačima mogu se mijenjati ovisno o predloženoj cijeni nabavnog predmeta i njegovoj kvaliteti. Iako te tvrtke imaju



ista prava, među njima postoji natjecanje za veći udio. To je nedvojbeno pokretačka snaga ove strategije.

- više izvora nabave (više dobavljača, engl. *multiple sourcing*) znači korištenje usluga više dobavljača i podizvođača. Ova strategija osigurava visoku sigurnost opskrbe. Karakterizira ga trijada: više dobavljača – višestruki odnosi – višestruke strategije. Obično se radi o komponentama za gotov proizvod, koje nisu strateške. Strategija više dobavljača kaže da je potrebno koristiti i surađivati s relativno velikim brojem dobavljača, s kojima poduzeće stvara različite vrste odnosa, razine suradnje i različite transakcije. Strategija jamči kontinuitet i pouzdanost opskrbe. Također omogućuje da ne postanete ovisni o jednom dobavljaču. Konkurencija između dobavljača također osigurava stalno podizanje zahtjeva i očekivanja kupaca. Mogu se pojaviti problemi s održavanjem jednake razine kvalitete i tehničkih parametara kako kupljene robe tako i pružene usluge. Nemoguće je provoditi zajednički istraživački i razvojni rad s tako velikim brojem alternativnih dobavljača.

Drugi primjer strategije nabave i kupnje je podjela prema predmetu nabave. Mogu se razlikovati sljedeće strategije (Grzybowska, 2011):

- nabave pojedinačnih elemenata (engl. *unit sourcing*), koja se usmjerava prema proizvodnim tvrtkama koje predmet nabave nabavljaju u obliku nekomplikiranih komponenti (jednostavnih elemenata: dijelova, detalja i sl), od kojih zatim proizvode gotov proizvod. U ovom rješenju stupanj odvojenosti proizvodnih aktivnosti prema van (outsourcing) je mali. Pretpostavlja visok stupanj vertikalne integracije proizvodnje. Vrlo je velika vjerojatnost da će proizvodno poduzeće (kupac) oko sebe okupiti mnogo ili vrlo mnogo dobavljača raznih materijalnih dobara od kojih se proizvodi gotov proizvod.
- modularne nabave (engl. *modular sourcing*), što znači odmak od nabave pojedinačnih elemenata u korist gotovih montažnih modula ili složenih komponenti koje se sklapaju u konačni proizvod.



5.3. Metode ocjenjivanja i odabira dobavljača

Ocjenjivanje kandidata za dobavljače temelji se na kriterijima utvrđenim za odabir dobavljača. Stručnjaci provode ove procjene koristeći različite metode donošenja odluka. Odabir dobavljača jedna je od najkritičnijih aktivnosti povezanih s upravljanjem nabavom u opskrbnom lancu (Amid i dr., 2006). Odabir dobavljača temelj je dugoročnih partnerstava s dobavljačima koji mogu značajno pridonijeti uspjehu ili neuspjehu poduzeća (Ali i dr., 2023). Na proces donošenja odluke o ocjenjivanju i odabiru dobavljača utječu sljedeći elementi: (1) korištena metoda ocjenjivanja; (2) minimalna količina narudžbe; (3) strategija pronalaženja izvora; (4) proizvodni kapacitet dobavljača; (5) vrsta proizvoda; (6) vrsta ocjene dobavljača; (7) postavke lokacije dobavljača; (8) kriterij odabira dobavljača; (9) proizvodna strategija; i (10) proizvodni kapacitet dobavljača (Nowakowski i Werbińska-Wojciechowska, 2012; de Boer i dr., 2001).

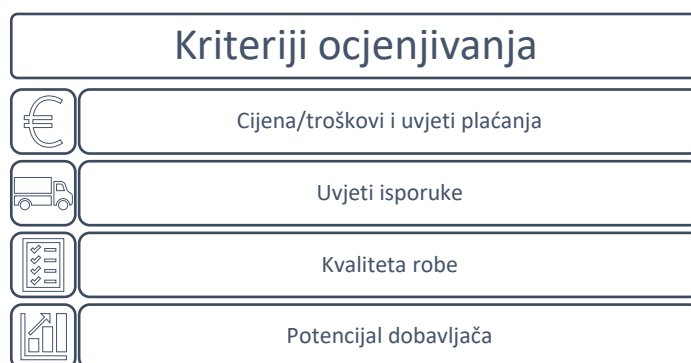
Poznat je niz metoda i tehnika za procjenu i odabir dobavljača. Ispod su neke od klasifikacija (Benyoucef i dr., 2003):

- metode eliminacije, koje pomažu tvrtkama u procesu odabira dobavljača postupnim eliminiranjem onih koji ne zadovoljavaju određene kriterije. Jedna od metoda eliminacije je bodovna metoda, pri kojoj se svaki dobavljač ocjenjuje na temelju skupa kriterija kao što su cijena, kvaliteta, pravodobnost isporuke i sl. Dobavljači koji ne postignu minimalni broj bodova se eliminiraju. Potkategorija u ovoj skupini je metoda ponderirane procjene dobavljača.
- metode optimizacije, koje pomažu tvrtkama u donošenju odluka o odabiru najboljih dobavljača na temelju različitih kriterija. Jedna od popularnijih metoda optimizacije je višekriterijska metoda analitički hijerarhijski proces (engl. *Analytic Hierarchy Process*, AHP), koja se sastoji od hijerarhijskog poredanja kriterija i ocjenjivanja dobavljača na temelju tih kriterija. AHP dopušta uključivanje i kvantitativnih i kvalitativnih kriterija.
- probabilističke metode, koje uzimaju u obzir nesigurnost i varijabilnost podataka u procesu donošenja odluka. Jedna od metoda ove skupine je TOPSIS metoda s probabilističkim informacijama.

Trenutačno se puno pozornosti posvećuje problemima vezanim uz odabir i raspodjelu dobavljača, koje je s vremenom sve teže riješiti (Khazaei i dr., 2023). Odabir dobavljača na današnjem konkurentnom tržištu najvažnija je funkcija za uspjeh ukupne učinkovitosti ciklusa i organizacije opskrbnog lanca (Dweiri i dr., 2016).

5.4. Kriteriji ocjenjivanja dobavljača

Određivanje pravih kriterija za ocjenu dobavljača omogućuje da se kasnije donese najbolji mogući izbor. Ovi kriteriji utječu i određuju ocjenu ponuda podizvođača. Vrijedi spomenuti detaljne kriterije za ocjenjivanje dobavljača (Slika 5.1) i njihovo proširenje važnim parametrima (Tablice 5.1-5.4).



Slika 5. 1. Odabrani kriteriji ocjenjivanja dobavljača

Izvor: (Midor i Biały, 2019)

Na primjer, Ha i Krishnan (2008) spomenuli su da su cijena, kvaliteta i isporuka tri najčešće korištena atributa. Slično tome, Koul i Verma (2012) također smatraju cijenu, kvalitetu, trošak i uslugu glavnim kriterijima za odabir dobavljača.

Jedan od ključnih kriterija za ocjenu dobavljača je cijena (troškovi) i uvjeti plaćanja (tablica 5.1). Cijena i troškovi dostave izravno utječu na ukupne troškove proizvodnje. O njima ovisi i visina profitne marže. Također je vrijedno zapamtiti da uvjeti plaćanja i dostupnost kredita, utječu na financijsku likvidnost poduzeća. Stoga fleksibilni uvjeti plaćanja mogu pomoći u upravljanju protokom novca i izbjegavanju problema s likvidnošću.



Tablica 5. 1. Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Cijena/troškovi i uvjeti plaćanja

Kriterij ocjenjivanja	Karakteristično parametri
Cijena/troškovi i uvjeti plaćanja	▪ cijenovna konkurentnost ▪ stabilnost ili varijabilnost cijena tijekom duljeg vremenskog razdoblja ▪ uvjeti plaćanja ▪ mogućnost kreditiranja dostave ▪ opseg popusta koji se odobrava za veće narudžbe ▪ opseg popusta koji se odobravaju za dugoročnu suradnju ▪ spremnost na pregovore o cijenama ▪ troškovi dostave; transportni troškovi ▪ skriveni (dodatni) troškovi koji nisu izravno vidljivi u cijenovnoj ponudi ▪ troškovi povezani s kvalitetom koji se odnose na reklamacije, povrate, popravke

Izvor: vlastita studija

Tablica 5. 2. Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Isporuke

Kriterij ocjenjivanja	Karakteristično parametri
Isporuke	▪ pravovremenost isporuka ▪ pravilnost; učestalost isporuka ▪ kompletnost isporuka ▪ točnost/asortimanska dosljednost isporuka ▪ način pakiranja i osiguranja robe ▪ kvantitativna fleksibilnost; vremenska fleksibilnost isporuka ▪ pogodnost postavljanja narudžbe ▪ mogućnost upravljanja logistikom isporuka od strane dobavljača (npr. transport, skladištenje) ▪ pouzdanost isporuka

Izvor: vlastita studija



Tablica 5. 3. Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Kvaliteta proizvoda

Kriterij ocjenjivanja	Karakteristično parametri
Kvaliteta proizvoda	▪ tehnička kvaliteta proizvoda ▪ jamstvo kvalitete ▪ pouzdanost proizvoda ▪ sigurnost proizvoda ▪ tehničke usluge ▪ usklađenost proizvoda s normama i standardima ▪ funkcionalnost proizvoda ▪ izdržljivost proizvoda ▪ sustav upravljanja kvalitetom ▪ jednostavnost popravka ili održavanja proizvoda ▪ utjecaj proizvoda na prirodni okoliš (ekološki karakter)

Izvor: vlastita studija

Tablica 5. 4. Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Potencijal dobavljača

Kriterij ocjenjivanja	Karakteristično parametri
Potencijal dobavljača	▪ proizvodni kapacitet ▪ tehnološka dostupnost ▪ dostupnost tehničkih, ljudskih i materijalnih resursa ▪ potencijal za inovacije ▪ logistička i operativna učinkovitost ▪ iskustvo dobavljača ▪ upravljačke i organizacijske mogućnosti ▪ tržišni položaj dobavljača (tržišni udio; ugled) ▪ mogućnosti uvođenja novih tehnologija, proizvoda ili procesa

Izvor: vlastita studija



No, cijena nije jedini kriterij za ocjenu dobavljača. Jednako važan kriterij su i rokovi isporuke (tablica 5.2). Sposobnost dobavljača da isporučuje na vrijeme, redovito ili fleksibilno ključna je za izbjegavanje zastoja u proizvodnji i osiguravanje kontinuiteta rada.

Još jedan važan kriterij za ocjenu dobavljača je kvaliteta isporučene robe (tablica 5.3). Visokokvalitetna roba (sirovine, materijali, komponente) utječe na kvalitetu proizvedenog proizvoda, a posljedično dovodi do zadovoljstva kupaca. To pak povećava lojalnost i ponovljivost kupnje te utječe na reputaciju tvrtke koja kupuje.

Pri ocjeni i odabiru dobavljača pozornost se može obratiti i na potencijal dobavljača za daljnji razvoj (tablica 5.4). Ovaj kriterij odnosi se na parametre koji pomažu odrediti hoće li dobavljač moći odgovoriti na buduće izazove i tržišne zahtjeve kratkoročno/dugoročno.

5.5. Metoda ponderirane točke

Najčešće korištena metoda kvantitativnog ocjenjivanja dobavljača je metoda ocjenjivanja koja se temelji na ponderiranoj ocjeni (Burdzik, 2017). Kod ove metode najprije se utvrđuje redoslijed odabranih kriterija ocjenjivanja dobavljača i dodjeljuje im se težinski faktor (ponder). Ponderirani faktor odnosi se na važnost odabranog kriterija ocjenjivanja.

Tvrtke često koriste sustav ponderiranih bodova jer je vrlo pouzdan, a troškovi njegove implementacije umjereni. Osim toga, kombinira kvalitativne i kvantitativne faktore izvedbe u zajednički sustav. Budući da donositelji odluka mogu promijeniti ponderirane faktore dodijeljene svakom kriteriju ili ih promijeniti neovisno o strateškim prioritetima tvrtke. Dakle, sustav je fleksibilan (Arsan i Shank, 2011; Maláková i dr., 2020).

Ocjena dobavljača dobiva se množenjem svake ocjene kriterija s unaprijed određenim ponderiranim faktorom. Zatim se dobivene vrijednosti zbrajaju. Ocjena preferencija (P_S) označava procjenu dobavljača.

Gore navedeno prikazano je formalnim modelom:

$$P_S = \sum_{i=1}^n (O_i \cdot w_i)$$

Gdje

P_S – rezultat preferencija



O – kriterijsko vrednovanje

ω – težinski koeficijent.

Ponderirani koeficijent treba:

- biti u rangu $< 0,1 >$,
- svaki sljedeći korišteni ponderirani koeficijent je manji od svog prethodnika $\omega_i > \omega_{i+1} > \omega_{i+2}$,
- zbroj svih težinskih koeficijenata mora biti jednak 1: $\sum_1^n \omega_i = 1$,
- broj ponderiranih koeficijenata ovisi o broju analiziranih kriterija.

Gore navedeno je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu

za ponderirani prosjek s pet odabranih kriterija ocjenjivanja dobavljača:



preferencijalni rezultat (dobavljač 1) = (ocjena (kriterij 1) * ω (1)) + (ocjena (kriterij 2) * ω (2)) + (ocjena (kriterij 3) * ω (3)) + (ocjena (kriterij 4) * ω (4)) + (ocjena (kriterij 5) * ω (5))

Predloženi postupak i opis procesa izračuna prikazani su u nastavku.

Sadržaj zadatka

Ocijenite dobavljače za odabranu stavku asortimana.



- [1] Izrada podatkovnog lista; Navođenje kriterija i dodjeljivanje težinskih koeficijenata.
- [2] Uspostavljanje ljestvice procjene pojedinih kriterija.
- [3] Uspostavljanje skupa dobavljača koji podliježu procjeni; Dodjeljivanje ocjena pojedinim kriterijima i dobavljačima.
- [4] Izračun ponderiranog prosjeka za svakog dobavljača koji je predmet procjene.
- [5] Crtanje grafa koji sadrži kriterije i njihovu ocjenu od strane dobavljača.



[6] Izvođenje analize i na temelju nje odabir najpovoljnijeg dobavljača;
određivanje dobavljača koji će dobiti najbolju ocjenu

Odabrani kriteriji su:

- Kvaliteta dijela bicikla (dijelovi se ne lome, izdržljivi su, nema zamjerki),
- Cijena dijela za bicikl (što manja to bolja),
- Pravovremenost isporuka (isporuke se dostavljaju na vrijeme),
- Pouzdanost isporuke (proizvodi stižu netaknuti, bez oštećenja),
- Sukladnost robe s očekivanjima (roba stiže točno onako kako je naručena),
- Postupak naručivanja (jednostavno i intuitivno naručivanje).

Dodijeljeni ponderirani koeficijenti su sljedeći:

- Kvaliteta dijela bicikla – 30%,
- Cijena dijela bicikla – 25%,
- Pravovremenost isporuke – 15%,
- Pouzdanost isporuke – 10%,
- Sukladnost robe s očekivanjima – 10%,
- Postupak naručivanja – 10%.

Navedeno je da će se ocjena pojedinih kriterija vršiti na temelju ocjene od 10 bodova (1-10), pri čemu:

- 10 – Vrlo dobar (savršeno ispunjen kriterij),
- 7–9 – Dobro (manji problemi),
- 4–6 – Prosjek (djelomično ispunjenje, nekoliko problema),
- 2–3 – Loše (brojni problemi),
- 1 – Vrlo loše (ne ispunjava kriterij).

Navedeno je da je za procjenu dobavljača odabrano pet tvrtki koje isporučuju dijelove za bicikle. Riječ je o poduzećima s oznakama: A1, B2, C3, D4, E5.



Excel primjer:

[1] Pripremite proračunsku tablicu s podacima; navesti kriterije i dodijeliti težinske koeficijente.

Assessment criteria	Criterion weight	Supplier assessment				
		A1	B2	C3	D4	E5
Quality	30%					
Price	25%					
Punctuality	15%					
Reliability	10%					
Compatibility	10%					
Ordering procedure	10%					

[2] Definirajte ljestvicu ocjenjivanja pojedinih kriterija prema utvrđenoj ljestvici i dodijelite je svakom dobavljaču koji je predmet ocjenjivanja.

Assessment criteria	Criterion weight	Supplier assessment				
		A1	B2	C3	D4	E5
Quality	30%	9	4	6	10	8
Price	25%	7	9	6	9	7
Punctuality	15%	8	9	7	8	8
Reliability	10%	9	8	4	9	9
Compatibility	10%	10	8	7	10	5
Ordering procedure	10%	8	7	6	10	8

[3] Izračunajte ponderirane prosjeke za svakog dobavljača koji se procjenjuje; Formula za izračun ponderiranog prosjeka za jednog dobavljača prikazana je u nastavku.

		=D4*C4+D5*C5+D6*C6+D7*C7+D8*C8+D9*C9				
B	C	D	E	F	G	H
Assessment criteria	Criterion weight	Supplier assessment				
		A1	B2	C3	D4	E5
Quality	30%	9	4	6	10	8
Price	25%	7	9	6	9	7
Punctuality	15%	8	9	7	8	8
Reliability	10%	9	8	4	9	9
Compatibility	10%	10	8	7	10	5
Ordering procedure	10%	8	7	6	10	8
Preference score		8,35	7,1	6,05	9,35	7,55

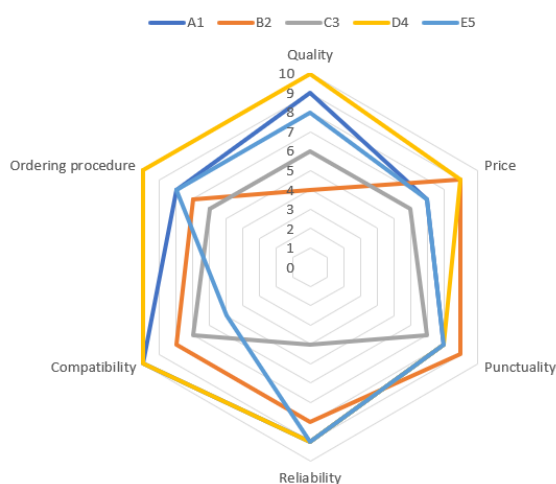
Za svakog dobavljača izračunajte ponderirani prosjek koji uzima u obzir ocjene i pondere za određeni kriterij. Da biste to učinili, izračunajte zbroj proizvoda



ocjene i težine za svaki kriterij za svakog dobavljača. Kopirajte formulu s apsolutnim adresama za preostale dobavljače;

Za kopiranje formule vrijedi koristiti apsolutne adrese za ćelije koje sadrže težinu zadanog kriterija.

- [4] Nacrtati grafikon koji sadrži kriterije i njihovu ocjenu od strane dobavljača;
Za vizualizaciju rezultata, vrijedi napraviti radiogram koji će prikazati ocjenu svakog kriterija (osi karte) prema dobavljaču (obojene linije).



Savršeno stanje dobavljačevih odabranih kriterija bit će figura "krug", dok će nesavršeno stanje biti točka 0 "centar".

- [5] Napraviti analizu i na temelju nje odabrati najboljeg dobavljača; utvrditi koji je dobavljač dobio najbolju ocjenu.

Assessment criteria	Criterion weight	Supplier assessment				
		A1	B2	C3	D4	E5
Quality	30%	9	4	6	10	8
Price	25%	7	9	6	9	7
Punctuality	15%	8	9	7	8	8
Reliability	10%	9	8	4	9	9
Compatibility	10%	10	8	7	10	5
Ordering procedure	10%	8	7	6	10	8
Preference score		8,35	7,1	6,05	9,35	7,55

Kako bi se odredio dobavljač koji najbolje zadovoljava kriterije usvojene tijekom analize, odabire se dobavljač s najvišom ocjenom preferencija.



Nakon provedene analize moguće je naznačiti koji dobavljač najbolje udovoljava kriterijima navedenim u tvrtki. S ovim dobavljačem treba uspostaviti suradnju. U slučaju da strategija nabave ukazuje da bi trebala postojati dva dobavljača za danu stavku nabave, treba odabrati sljedećeg dobavljača s najvišom ocjenom preferencija.

Rezultati dobivene analize ocjene dobavljača metodom ponderiranog prosjeka mogu se na pregledan način prikazati na grafikonu. Najviša ocjena preferencija također znači najveći zbroj ponderiranih ocjena odabranih kriterija.

5.6. Višekriterijska metoda

Analitički hijerarhijski proces (AHP) često je korišten postupak za rješavanje problema vezanih uz strateške odluke, također i za ocjenjivanje i odabir dobavljača (Ossadnik i Lange, 1999). AHP je uobičajena višekriterijska metoda odlučivanja. Razvijen je kako bi pomogao u rješavanju složenih problema donošenja odluka. Uzima u obzir i subjektivne i objektivne mjere procjene (Dweiri i dr., 2016). AHP koristi usporedbu parova kriterija ocjenjivanja s obzirom na cilj. Ova usporedba parova omogućuje određivanje relativne važnosti kriterija u odnosu na glavni cilj. Ako su dostupni kvantitativni podaci, usporedbe se mogu lako napraviti na temelju definirane ljestvice. Time rezultat analize jamči izvrsnu ocjenu. AHP metoda je intuitivna metoda za formuliranje i analizu odluka. Temelji se na subjektivnoj metodologiji. Sastoji se od tri glavna načela: (1) hijerarhijske strukture, (2) analize prioriteta i (3) provjere dosljednosti (Cheng i dr., 2007).

Predloženi postupak i opis procesa izračuna prikazani su u nastavku.

Sadržaj zadatka

Ocijenite dobavljače za odabranu stavku asortimana.



- [1] Izrada podatkovnog lista; Navođenje kriterija.
- [2] Usporedite kriterije u parovima (ljestvica 1, 2, 3, 4, 5).
- [3] Izračunajte zbroj za svaki kriterij.
- [4] Izračunajte udio svake ćelije u zbroju za svaki kriterij.
- [5] Izračunajte globalne preferencije za svaki kriterij.
- [6] Prikaži globalne postavke za svaki kriterij.
- [7] Navedite dobavljače (A1, B2, C3, D4).
- [8] Izračunajte lokalne preferencije za svaki kriterij i dobavljača.
- [9] Izračunajte udio svake ćelije u zbroju za svaki kriterij i dobavljača.
- [10] Izračunajte lokalne preferencije za svaki kriterij i dobavljača.
- [11] Prikažite lokalne postavke za svakog dobavljača za određeni kriterij.
- [12] Uspostavite poredak dobavljača.
- [13] Odaberite dobavljača.

Odabrani kriteriji su:

- Kvaliteta dijela bicikla (dijelovi se ne kvare, izdržljivi su, nema zamjerki),
- Cijena dijela za bicikl (što manja to bolja),
- Pravovremenost isporuka (isporuke se dostavljaju na vrijeme),
- Pouzdanost isporuke (proizvodi stižu netaknuti, bez oštećenja).

Odabrana je ljestvica usporedbe kriterija:

- 1 – jednako dobro / važno,
- 2 – nešto bolje/važnije,
- 3 – definitivno bolje / važnije,
- 4 – puno bolje / važnije,
- 5 – izuzetno bolje / važnije.

Navedeno je da je za ocjenu dobavljača odabrano pet tvrtki dobavljača dijelova za bicikle. Riječ je o poduzećima pod šiframa: A1, B2, C3, D4.



Excel primjer:

[1] Pripremite podatkovni list; navesti kriterije.

[2] Usporedite kriterije u parovima (ljestvica 1, 3, 5).

Usporedba kriterija u parovima omogućuje vam da odredite koji je od njih važniji. Usporedba se vrši prema usvojenoj ljestvici.

Na primjer: kvaliteta je izuzetno važnija od cijene, što znači odabrati ocjenu 5. Za usporedbu kriterija u narudžbi cijena i kvaliteta uzima se obrnuto od prethodne ocjene, tj. 1/5.

	Quality	Price	Punctuality	Reliability
Quality	1	5	3	2
Price	1/5	1	3	1
Punctuality	1/3	1/3	1	1/5
Reliability	1/2	1	5	1

[3] Izračunajte zbroj za svaki kriterij u stupcu.

Zatim zbrojite bodove dobivene usporedbom parova kriterija u stupcima.

=SUM(C12:C15)					
	Quality	Price	Punctuality	Reliability	
Quality	1,00	5,00	3,00	2,00	
Price	0,20	1,00	3,00	1,00	
Punctuality	0,33	0,33	1,00	0,20	
Reliability	0,50	1,00	5,00	1,00	
Sum	=SUM(C12:C15)	7,33	12,00	4,20	

[4] Izračunajte udio svake ćelije u zbroju za svaki kriterij.

Zatim morate izračunati udio određenog kriterija u ukupnom iznosu za taj kriterij. Primjer prikazuje odgovarajuće ćelije u traci formule, vrijednosti izgledaju ovako za kriterij kvalitete: $1 : 2,03 = 0,49$; $0,20 : 2,03 = 0,10$; $0,33 : 2,03 = 0,16$; $0,50 : 2,03 = 0,25$. Zbroj udjela mora biti 1.



C21						
	A	B	C	D	E	F
10						
11			Quality	Price	Punctuality	Reliability
12		Quality	1,00	5,00	3,00	2,00
13		Price	0,20	1,00	3,00	1,00
14		Punctuality	0,33	0,33	1,00	0,20
15		Reliability	0,50	1,00	5,00	1,00
16		Sum	2,03	7,33	12,00	4,20
17						
18						
19						
20			Quality	Price	Punctuality	Reliability
21		Quality	0,49	0,68	0,25	0,48
22		Price	0,10	0,14	0,25	0,24
23		Punctuality	0,16	0,05	0,08	0,05
24		Reliability	0,25	0,14	0,42	0,24
25		Sum	1,00	1,00	1,00	1,00

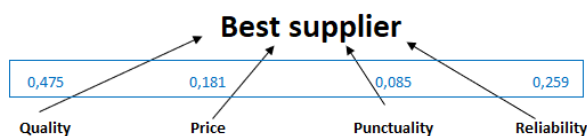
[5] Izračunajte globalne preferencije za svaki kriterij.

Izračunavanje globalnih preferencija za svaki kriterij je izračun prosječnih udjela u redovima za svaki kriterij. Ovaj nam izračun omogućuje određivanje globalnog udjela ovog kriterija u cjelokupnom ocjenjivanju kojem će dobavljači biti podvrgnuti.

	B	C	D	E	F	G
		Quality	Price	Punctuality	Reliability	W (average)
	Quality	0,49	0,68	0,25	0,48	=average(
	Price	0,10	0,14	0,25	0,24	0,181
	Punctuality	0,16	0,05	0,08	0,05	0,085
	Reliability	0,25	0,14	0,42	0,24	0,259
	Sum	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

[6] Prikaži globalne postavke za svaki kriterij.

Grafički oblik omogućuje bolji prikaz preferencija zadanog kriterija u odnosu na odabir dobavljača.



[7] Navedite dobavljače (A1, B2, C3, D4).

[8] Usporedite dobavljače u parovima prema svakom kriteriju (ljestvica 1-7).

Usporedba dobavljača u parovima omogućuje vam da odredite koji od njih bolje zadovoljava zadani kriterij. Usporedba se vrši prema usvojenoj ljestvici.



Usvojena ljestvica za usporedbu dobavljača je 1-7, gdje 1 znači da su dobavljači jednako dobri, 7 - dobavljač je izrazito bolji, a ostale vrijednosti su između.

Usporedba dobavljača se vrši za svaki kriterij posebno.

Na primjer: za kriterij kvalitete dobavljač A1 jednako je dobar kao dobavljač B2 (ocjena 1), dobavljač A1 nešto je bolji od dobavljača C3 i D4 (ocjena 3). Za usporedbu dobavljača obrnutim redoslijedom (B2 i A1, C3 i A1, D4 i C3), uzima se obrnuto od prethodnog rezultata (tj. 1/1, 1/3, 1/3, respektivno). Zatim se u stupcima zbrajaju bodovi dobiveni usporedbom dobavljača u paru.

Quality	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	1,00	3,00	3,00
B2	1,00	1,00	0,20	3,00
C3	0,33	5,00	1,00	0,33
D4	0,33	0,33	3,00	1,00
Sum:	2,66	7,33	7,20	7,33

Punctuality	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	3,00	0,33	3,00
B2	0,33	1,00	0,20	3,00
C3	3,00	5,00	1,00	5,00
D4	0,33	0,33	0,20	1,00
Sum:	4,66	9,33	1,73	12,00

Price	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	5,00	7,00	4,00
B2	0,20	1,00	3,00	1,00
C3	0,14	0,33	1,00	0,33
D4	0,25	1,00	3,00	1,00
Sum:	1,59	7,33	14,00	6,33

Reliability	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	0,20	3,00	5,00
B2	5,00	1,00	5,00	5,00
C3	0,33	0,20	1,00	0,33
D4	0,20	0,20	3,00	1,00
Sum:	6,53	1,60	12,00	11,33

[9] Izračunajte udio svake ćelije u ukupnom iznosu za svaki kriterij i dobavljača.

Treba izračunati udio određenog dobavljača u ukupnom iznosu za tog dobavljača s obzirom na svaki kriterij.

U primjeru u prvoj tablici za kriterij kvalitete, traka formule prikazuje odgovarajuće ćelije, u vrijednostima izgleda ovako za dobavljača A1: $1 : 2,66 = 0,38$; $1 : 2,66 = 0,38$; $0,33 : 2,66 = 0,12$; $0,33 : 2,66 = 0,12$. Zbroj udjela mora biti 1.



=C3/C7										
B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Quality	A1	B2	C3	D4		Quality	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	1,00	3,00	3,00		A1	0,38	0,14	0,42	0,41
B2	1,00	1,00	0,20	3,00		B2	0,38	0,14	0,03	0,41
C3	0,33	5,00	1,00	0,33		C3	0,12	0,68	0,14	0,05
D4	0,33	0,33	3,00	1,00		D4	0,12	0,05	0,42	0,14
Sum:	2,66	7,33	7,20	7,33		Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00
Price	A1	B2	C3	D4		Price	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	5,00	7,00	4,00		A1	0,63	0,68	0,50	0,63
B2	0,20	1,00	3,00	1,00		B2	0,13	0,14	0,21	0,16
C3	0,14	0,33	1,00	0,33		C3	0,09	0,05	0,07	0,05
D4	0,25	1,00	3,00	1,00		D4	0,16	0,14	0,21	0,16
Sum:	1,59	7,33	14,00	6,33		Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00
Punctuality	A1	B2	C3	D4		Punctuality	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	3,00	0,33	3,00		A1	0,21	0,32	0,19	0,25
B2	0,33	1,00	0,20	3,00		B2	0,07	0,11	0,12	0,25
C3	3,00	5,00	1,00	5,00		C3	0,64	0,54	0,58	0,42
D4	0,33	0,33	0,20	1,00		D4	0,07	0,04	0,12	0,08
Sum:	4,66	9,33	1,73	12,00		Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00
Reliability	A1	B2	C3	D4		Reliability	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	0,20	3,00	5,00		A1	0,15	0,13	0,25	0,44
B2	5,00	1,00	5,00	5,00		B2	0,77	0,63	0,42	0,44
C3	0,33	0,20	1,00	0,33		C3	0,05	0,13	0,08	0,03
D4	0,20	0,20	3,00	1,00		D4	0,03	0,13	0,25	0,09
Sum:	6,53	1,60	12,00	11,33		Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00

[10] Izračunajte lokalne preferencije za svaki kriterij i dobavljača.

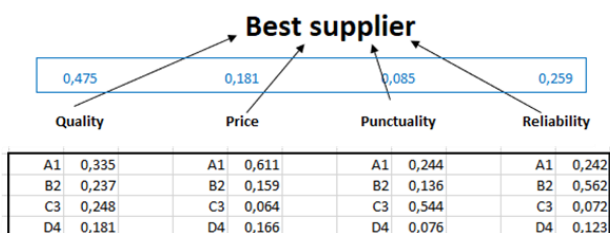
Izračun lokalnih preferencija za svakog dobavljača za svaki kriterij je stvar izračuna prosječnih udjela za svakog dobavljača u recima. Ovaj nam izračun omogućuje određivanje lokalnog udjela ovog dobavljača za određeni kriterij u ocjenjivanju.



f_x	=average(I3:L3)					
	H	I	J	K	L	M
Quality	A1	B2	C3	D4	U(Quality)	
A1	0,38	0,14	0,42	0,41	=average(I3:L3)	
B2	0,38	0,14	0,03	0,41	0,237	
C3	0,12	0,68	0,14	0,05	0,248	
D4	0,12	0,05	0,42	0,14	0,181	
Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Price	A1	B2	C3	D4	U(Price)	
A1	0,63	0,68	0,50	0,63	0,611	
B2	0,13	0,14	0,21	0,16	0,159	
C3	0,09	0,05	0,07	0,05	0,064	
D4	0,16	0,14	0,21	0,16	0,166	
Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Punctuality	A1	B2	C3	D4	U(Punctuality)	
A1	0,21	0,32	0,19	0,25	0,244	
B2	0,07	0,11	0,12	0,25	0,136	
C3	0,64	0,54	0,58	0,42	0,544	
D4	0,07	0,04	0,12	0,08	0,076	
Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Reliability	A1	B2	C3	D4	U(Reliability)	
A1	0,15	0,13	0,25	0,44	0,242	
B2	0,77	0,63	0,42	0,44	0,562	
C3	0,05	0,13	0,08	0,03	0,072	
D4	0,03	0,13	0,25	0,09	0,123	
Sum:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

[11] Prikažite lokalne preferencije za svakog dobavljača s obzirom na zadani kriterij.

Grafički oblik omogućuje bolji prikaz preferencija pojedinog dobavljača po svakom kriteriju.



[12] Uspostavite rang dobavljača.

Uspostava poretka dobavljača uključuje izračun zbroja umnožaka težine za svaki kriterij za svakog dobavljača i ocjene dobavljača za taj kriterij.



=K3*N3+K4*P3+K5*R3+K6*T3												
I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
	Global Preference	W			Quality		Price		Punctuality		Reliability	
	Quality	0,475			A1	0,335	A1	0,611	A1	0,244	A1	0,242
	Price	0,181			B2	0,237	B2	0,159	B2	0,136	B2	0,562
	Punctuality	0,085			C3	0,248	C3	0,064	C3	0,544	C3	0,072
	Reliability	0,259			D4	0,181	D4	0,166	D4	0,076	D4	0,123
supplier 1		A1	0,353									
supplier 2		B2	0,299									
supplier 3		C3	0,194									
supplier 4		D4	0,154									

[13] Odaberite dobavljača.

Dobiveni rezultati mogu se prikazati grafički. U analiziranom primjeru najviši rezultat ocjene dobio je dobavljač A1.

5.7. Otporni dobavljači

Dobavljači i podizvođači smatraju se glavnim izvorima rizika koji uzrokuju masovne poremećaje u opskrbnim lancima (Pramanik i dr, 2017). Štoviše, mnogi procesi opskrbnog lanca ovise o dobavljaču. Stoga odabir otpornih dobavljača može značajno smanjiti troškove nabave, vremena kašnjenja i povećati konkurentnost tvrtke i zadovoljstvo kupaca (Davoudabadi i dr, 2020). Procjena otpornosti dobavljača stoga je jedan od najvažnijih načina za ulazak u svijet otpornosti opskrbnog lanca, budući da su dobavljači jedan od glavnih izvora ranjivosti u opskrbnom lancu.

Prema Sheffi i Blayney Rice (2005), otpornost u poduzećima i opskrbnim lancima može se izgraditi na tri opća načina: (1) stvaranjem otpornosti u cijelom opskrbnom lancu (npr. dodatni zaliha, niska iskorištenost kapaciteta, više izvora), (2) povećanjem fleksibilnosti opskrbnog lanca (npr. fleksibilna transportna sredstva u slučaju prekida, paralelni procesi umjesto sekvencijalnih, strategije nabave prilagođene odnosima s dobavljačima), i (3) mijenjanjem korporativne kulture (npr. stalna komunikacija između informiranih zaposlenika, priprema za poremećaje).



Tablica 5. 5. Kriterij otpornosti

Kriteriji otpornosti	Obrazloženje
Inicijative za kontrolu onečišćenja	Napori povezani s inicijativama za smanjenje onečišćenja u vezi s čvrstim otpadom, rasipanjem vode, emisijama u zrak itd.
Ulaganje u prijenosne kapacitet	Razina sigurnosnih zaliha koja se uzima u obzir kako bi se smanjio rizik nestašice zbog neizvjesnosti.
Brzina odgovora	Sposobnost dobavljača da odgovore na tržišne fluktuacije u najkraćem mogućem vremenu.
Sposobnost održavanja strateških zaliha za hitne slučajeve	Prikazuje nultu dostupnost, gubitke, nadopunu i rotaciju zaliha. Strateške zalihe moraju biti na određenoj razini jer uvijek postoje neizvjesne potražnje.
Sklapanje ugovora s rezervnim dobavljačima	Ugovaranje rezervnih dobavljača proces je kojim tvrtka sklapa ugovore s dobavljačima koji mogu pružiti proizvode ili usluge kada primarni dobavljači to nisu u mogućnosti učiniti. To je strategija za povećanje otpornosti opskrbnog lanca na prekide i minimiziranje rizika od prekida opskrbe.
Strategija ublažavanja	Strategije ublažavanja su radnje koje se poduzimaju kako bi se smanjile negativne posljedice prekida opskrbnog lanca.
Rezervne zalihe	Rezervirane zalihe je strategija upravljanja zalihama u kojoj tvrtka održava određenu razinu zaliha koja se namjerava koristiti u hitnim slučajevima ili kada dođe do iznenadnog povećanja potražnje.

Izvor: (Davoudabadi i dr., 2020; Suryadi i Rau, 2023)

Hosseini i dr. (2019) također su istaknuli da je u procjeni dobavljača vrijedno uvesti elemente analize temeljene na sposobnosti otpornosti dobavljača, koja uključuje tri razine sposobnosti:

- apsorpcijska (npr. višak zaliha povećava otpornost cijele opskrbe mreže na poremećaje),
- prilagodljivost (npr. alternativni rezervni dobavljači za brzo prilagođavanje opskrbe mreže),
- korektivna (npr. brzi oporavak dobavljačevog izgubljenog opskrbnog kapaciteta uz minimalne troškove).

Davoudabadi i dr. naveli su i proširili kriterije odabira dobavljača kako bi uključili održive aspekte (na primjer: ekološki prihvatljivi materijali; tehnologija temeljena na ekološki prihvatljivoj tehnologiji; usklađenost s politikom zaštite okoliša; zeleni projekti istraživanja i razvoja) i otporne (Tablica 5.5).



Stoga bi otporni dobavljači trebali (1) imati mogućnost povratka u stanje ravnoteže, (2) imati snagu i osigurati određeni kapacitet međuspremnika za sustav prije nego što poremećaj dovede sustav iz stabilnog u nestabilno stanje i (3) imati sposobnost odgovoriti na poremećaj.

PITANJA POGLAVLJA

1. Koje kriterije ocjenjivanja dobavljača smatrate najvažnijima u kontekstu upravljanja financijskom likvidnošću poduzeća i zašto?
2. Koje su glavne prednosti korištenja AHP metode u procesu ocjenjivanja i odabira dobavljača?
3. Koji su glavni nedostaci korištenja AHP metode u procesu ocjenjivanja i odabira dobavljača?

LITERATURA

Ali M.R., Nipu S.M.A. i Khan S.A. (2023) A decision support system for classifying supplier selection criteria using machine learning and random forest approach. *Decision Analytics Journal*, 7, 100238.

Amid A., Ghodsypour S. H., i O'Brien C. (2006) Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of production economics*, 104(2), 394-407.

Arsan A. i Shank A. (2011) Performance measurement and metrics: An analysis of supplier evaluation.

Benyoucef L., Ding H. i Xie X. (2003) Supplier selection problem: selection criteria and methods. *Raport de recherche No. 4726, INRIA Lorraine, Nancy France*.

Burdzik R. (2017) Parametryczna ważona ocena dostawców (PWOD), cz. 1–podstawowe założenia metody. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, (117).

Cheng S.C., Chen M.Y., Chang H.Y. i Chou T.C. (2007) Semantic-based facial expression recognition using analytical hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 33(1), 86-95.



Coyle J.J., Bardi E.J., i Langley C.J. Jr. (2002) Zarządzanie logistyczne, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

Davoudabadi R., Mousavi S.M. i Sharifi E. (2020) An integrated weighting and ranking model based on entropy, DEA and PCA considering two aggregation approaches for resilient supplier selection problem. *Journal of Computational Science*, 40, 101074.

de Boer L., Labro E. i Morlacchi P. (2001) A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management* 7, 75-89.

Dweiri F., Kumar S., Khan S.A. i Jain V. (2016) Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.

Grzybowska K. (2011) Strategie zakupowe. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Ha S.H. i Krishnan R. (2008) A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert systems with applications*, 34(2), 1303-1311.

Hosseini S., Tajik N., Ivanov D., Sarder M.D., Barker K. i Al Khaled A. (2019) Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*, 213, 124-137.

Khazaei M., Hajiaghaei-Keshteli M., Rajabzadeh Ghatari A., Ramezani M., Fooladvand A. i Azar A. (2023) A multi-criteria supplier evaluation and selection model without reducing the level of optimality. *Soft Computing*, 27(22), 17175-17188.

Kowalska K. (2005) Logistyka zaopatrzenia, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice.

Maláková S., Frankovský P., Neumann V., i Kurylo P. (2020). Evaluation of suppliers' quality and significance by methods based on weighted order. *Acta logistica*, 7(1), 1-7.

Midor K. i Biały W. (2019) Metody oceny dostawców dla przedsiębiorstw. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 8.

Nowakowski T. i Werbińska-Wojciechowska S. (2012) Przegląd metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie. *Logistyka*, (2, CD 2), 944-955.



Ossadnik W. i Lange O. (1999) AHP-based evaluation of AHP-Software. European journal of operational research, 118(3), 578-588.

Pramanik D., Mondal S.C. i Haldar A. (2020) Resilient supplier selection to mitigate uncertainty: Soft-computing approach. Journal of Modelling in Management, 15(4), 1339-1361.

Sheffi Y. i Rice Jr. J.B. (2005) A supply chain view of the resilient enterprise. MIT Sloan management review.

Suryadi A. i Rau H. (2023) Considering region risks and mitigation strategies in the supplier selection process for improving supply chain resilience. Computers i Industrial Engineering, 181, 109288.

Verma R. i Koul S. (2012) Dynamic Vendor selection: a fuzzy AHP approach. International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 4(2).



6. OUTSOURCING

Ovo poglavlje posvećeno je najvažnijim pitanjima vezanim uz outsourcing i *make-or-buy* analizu koja se koristi u procesu donošenja odluka o outsourcingu. Sadrži :



- osnovne definicije,
- vrste outsourcinga,
- prednosti i nedostaci outsourcinga,
- opis make-or-buy analize,
- outsourcing logistike.

6.1. Uvod

U današnjim tržišnim uvjetima logistički procesi, koji uključuju protok proizvoda, materijala i informacija unutar poduzeća i između organizacija, uvelike utječu na ispunjenje očekivanja i zahtjeva potrošača. Logistika određuje stvaranje i održavanje konkurentske dominacije postojećih gospodarskih subjekata. Logistički procesi odvijaju se unutar logističkog sustava koji je svaka tvrtka postavila na drugačiji način. Kako bi zadovoljile promjenjiva i rastuća očekivanja i preferencije kupaca, tvrtke trenutno grade vrlo složene logističke sustave temeljene na suradnji mnogih poduzeća iz različitih zemalja. Logistički procesi postaju sve složeniji, opterećeni neizvjesnošću i iziskuju velike financijske izdatke. Tvrtke ne bi trebale samo pokušati jamčiti odgovarajuću korisničku uslugu i minimizirati troškove, već i smanjiti utjecaj poremećaja u logističkim procesima (König i Spinler, 2016). Logistički sustav poduzeća trebao bi biti prilagođen vanjskim i unutarnjim uvjetima date organizacije i trebao bi jamčiti djelotvornu i učinkovitu realizaciju njenih ciljeva. Neodgovarajući raspored logističkih procesa može dovesti do povećanja financijskih izdataka logističkih aktivnosti i pada kvalitete usluge potrošačima, što rezultira padom konkurentske pozicije organizacije (Bzeziński, 2015).

Suvremene tvrtke sve više uvode promjene unutar svoje organizacije, posebice u području upravljanja, zbog težnje za visokom učinkovitošću svojih aktivnosti i postizanjem



ciljeva i tržišnog uspjeha, jer je učinkovitost alat za stvaranje njihove konkurentske prednosti. Konstantno rastući tržišni pritisak uz konkurentnost drugih poduzeća onemogućuje poslovnim subjektima integraciju svih resursa na svim razinama svog djelovanja. Stoga se postavlja pitanje je li potrebno sve aktivnosti obavljati *in-house* za određenu organizaciju i razmisliti o korištenju outsourcinga, odnosno usluga vanjske tvrtke specijalizirane za određenu industriju, kako bi se fokusirala na svoje temeljne aktivnosti?

Henry Ford je rekao da "Ako postoji nešto što ne možemo učiniti učinkovitije, jeftinije i bolje od naše konkurencije, nema smisla da to radimo, i trebali bismo unajmiti nekoga da obavi taj posao tko to može učiniti bolje od nas" (Ford, 1923).

6.2. Temelj outsourcinga



Općenito govoreći, **outsourcing** je metoda (koncept) upravljanja koja se sastoji u ograničavanju opsega aktivnosti koje izravno obavlja određena tvrtka (koja se naziva matična tvrtka) i njihovu eksternalizaciju za trajnu provedbu vanjskim poduzećima (koja se nazivaju uslužna poduzeća) (Trocki, 2001).

Koncept outsourcinga pretpostavlja da za gotovo svaki proces, područje ili funkciju koja se može obavljati unutar tipične organizacijske strukture poduzeća postoji alternativa u obliku usluga koje nude vanjski dobavljači (partneri) specijalizirani za određenu industriju. Zbog toga se outsourcing definira kao metoda stalne eksterne usluge od strane specijaliziranih poduzeća, eksternalizacija, eksterno upravljanje ili čak dekoncentracija funkcioniranja organizacije.

Područja koja se mogu uspješno prepustiti vanjskim tvrtkama prikazana su u tablici 6.1.



Tablica 6. 1. Primjeri područja koja se mogu prenijeti na uslužnu tvrtku u sklopu outsourcinga

Površina	Primjeri vanjskih poslova, funkcija ili procesa
Proizvodnja i opskrba	proizvodnja komponenti, poluproizvoda pa čak i gotovih proizvoda, montaža proizvoda, pakiranje, dizajn,
Transport i logistika	transport i distribucija proizvoda, kurirske usluge, skladištenje,
Istraživanje i razvoj	istraživačko-razvojni rad, znanstveno-istraživački rad, implementacijski rad,
Računalstvo i informacijske tehnologije	podrška računalne mreže, podrška podatkovnom centru, usluge održavanja IT infrastrukture, podrška IT aplikacijama, podrška krajnjim korisnicima, sigurnosne usluge ili internetske usluge,
Financijske, računovodstvene i porezno-računovodstvene usluge	računovodstvo, upravljanje dugom, kontroling, revizija, financijske i analitičke usluge, izrada poslovnih planova, porezno savjetovanje, zastupanje poreznih obveznika pred poreznim tijelima,
Pravna podrška	pravni savjeti iz raznih oblasti, odnosno zastupanje u pravnim stvarima,
Služba za korisnike	telemarketing, vođenje recepcije, tajništva, telefonske linije ili pozivnog centra,
Marketing	praćenje promjena koje se događaju na tržištu, istraživanje očekivanja kupaca, kreiranje koncepata novih proizvoda, definiranje promotivnih, reklamnih i distribucijskih strategija te oblikovanje sfere odnosa s javnošću,
Osoblje i ljudi resursi,	regrutacija i selekcija kandidata, obuka zaposlenika, izrada motivacijskih sustava, upravljanje kadrovima, vođenje kadrovske dokumentacije, zapošljavanje na određeno vrijeme i obračun plaća,
Menadžment i administracija	održavanje objekata i čistoće, čuvanje arhiva, zaštita ljudi i imovine, usluge upravljanja.

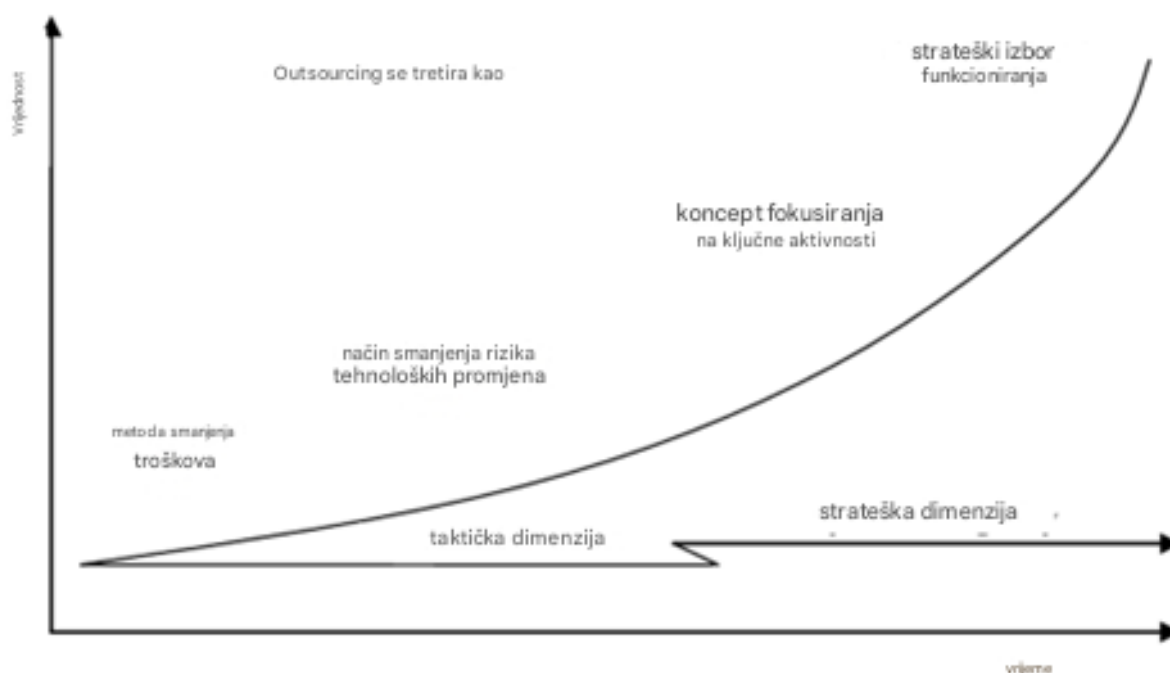
Izvor: (Matejun, 2007)



Prema drugoj definiciji, "**outsourcing** je metoda organizacije i upravljanja koja se sastoji u relativno trajnom, dugoročnom, ugovornom prijenosu odgovornosti za provedbu specifičnih područja poslovnih aktivnosti (zadataka, funkcija ili procesa) na specijaliziranog vanjskog partnera, uzimajući u obzir dinamičnu, interaktivnu i partnersku prirodu suradnje usmjerenu na postizanje ekonomskih i kvalitativnih koristi te istovremeno mogućnost razvoja ključnih

kompetencija matičnog poduzeća, što omogućuje jačanje njegovih ključnih aktivnosti, izgradnju konkurentske prednosti i razvoj poduzeća" (Matejun, 2015).

Dijagram evolucije i porasta važnosti outsourcinga za moderna poduzeća prikazan je na slici 6.1.



Slika 6. 1. Evolucija koncepta outsourcinga

Izvor: (Matejun, 2015)

6.3. Osnovne vrste outsourcinga

Outsourcing se u poslovnoj praksi može odvijati u dva glavna oblika: razdvajanje ili provizija. **Razdvajanje** se odnosi na situaciju kada se određena sfera aktivnosti (proces, zadatak, funkcija) obavlja unutar organizacijske strukture poduzeća, ali ne spada u glavne nadležnosti organizacije, a analize vezane uz troškove njenog održavanja te kvalitetu, koordinaciju i pravovremenost aktivnosti pokazuju da ne sudjeluje u procesu stvaranja vrijednosti usluga ili proizvoda. Tada je moguće određeno područje aktivnosti ukloniti iz organizacijske strukture i njegovu provedbu prepustiti uslužnoj tvrtki (Matejun, 2015).



Provizija nastaje kada se određeno područje aktivnosti još nije obavljalo unutar organizacijske strukture poduzeća, a analiza pokazuje da bi bilo potrebno zbog određenih strateških koristi. Ovo područje ne uključuje ključne kompetencije tvrtke, a njegovo izravno dodavanje organizacijskoj strukturi rezultiralo bi uključivanjem značajnih resursa koji bi se mogli alocirati za jačanje osnovne sfere djelovanja. To će omogućiti suradnju s vanjskim dobavljačem koji pruža željene usluge outsourcinga (Matejun, 2015).

Tablica 6. 2 Varijante kapitalnog i ugovornog outsourcinga ovisno o obliku prijenosa djelatnosti na uslužnu tvrtku

Outsourcing Oblik prijenosa poslovne aktivnosti	Kapitalni outsourcing	Ugovorni outsourcing
	stalna suradnja s kapitalno i vlasnički povezanim subjektom	trajnu suradnju s kapitalno neovisnim subjektom
Odvajanje područja	Odvajanje kapitala stvaranje nove podružnice na temelju resursa, koja započinje svoje samostalno tržišno postojanje; pruža usluge matičnoj tvrtki kao i vanjskim subjektima.	Ugovorno razdvajanje likvidacija dotadašnje funkcije u poduzeću i uspostavljanje formalne suradnje s vanjskim, neovisnim dobavljačem koji osigurava provedbu zadataka; mogućnost djelomičnog prijenosa osoblja i drugih resursa na dobavljača.
Peovizija područja	Kapitalna provizija kupnja udjela ili udjela u društvu koje pruža potrebne usluge ili obavlja određene poslove; kao rezultat toga dolazi do preuzimanja kapitala i osnivanja podružnice	Ugovorna provizija uspostavljanje suradnje s kapitalno i vlasnički neovisnim dobavljačem čime započinje provedba određene funkcije.

Izvor: (Matejun, 2015)

Također je moguće izdvojiti i komisionirati usluge u ugovornoj ili kapitalnoj varijanti. U **ugovornoj varijanti**, vanjski dobavljač, odnosno uslužno poduzeće, kapitalno je neovisno specijalizirano poduzeće koje je s matičnim poduzećem povezano samo na temelju ugovora. Pretpostavka kapitalne varijante je ulazak u suradnju s vlasnički i kapitalno ovisnim poduzećem.



To se može učiniti stvaranjem nove organizacije (tvrtke kćeri) ili kupnjom udjela u poduzeću koje već posluje na tržištu i obavlja aktivnosti potrebne matičnom društvu. Kombinacijom kapitalnog i ugovornog outsourcinga s dvije osnovne metode outsourcinga usluga vanjskoj uslužnoj tvrtki mogu se dobiti četiri osnovne varijante ove metode, prikazane u tablici 6.2.

Tablica 6. 3. Osnovne vrste outsourcinga

Kriterij podjele	Vrste outsourcinga
Vrsta odvojenih funkcija	▪ outsourcing pomoćnih funkcije, ▪ funkcija upravljanja, ▪ outsourcing osnovnih funkcije
Vrsta odvojenih aktivnosti	▪ outsourcing strane aktivnosti, ▪ outsourcing pomoćnih aktivnosti, ▪ outsourcing jezgre aktivnosti.
Vrsta outsourcinga prema funkciji	▪ outsourcing IT usluga, ▪ outsourcing financijskih usluga, ▪ logistike, ▪ outsourcing ljudskih resursa i drugi
Složenost odvojenih funkcija	▪ outsourcing individualnih funkcije, ▪ procesa (BPO), ▪ outsourcing funkcionalnih područja.
Svrha odvajanja	▪ popravaka, ▪ prilagodbe, ▪ outsourcing razvoja
Postojanost odvojenosti	▪ strateški outsourcing, ▪ taktički outsourcing.
Mjesto izvršenja usluge outsourcinga	▪ pružene usluge centralno, ▪ pružene usluge lokalno.
Opseg razdvajanja	▪ totalni outsourcing, ▪ djelomični (selektivni) outsourcing.

Izvor: (Matejun, 2006).

Osim gore navedenih tipova outsourcinga, u poslovnoj praksi postoje mnoge druge vrste outsourcinga, ovisno o usvojenom kriteriju, a koji su prikazani u tablici 6.3.

6.4. Prednosti i rizici korištenja outsourcinga u suvremenim poduzećima

Iako su koristi dobivene kao rezultat outsourcing suradnje često određene čimbenicima koji se odnose na veličinu poduzeća, njegovu industriju, vrstu eksternalizirane aktivnosti ili opseg poslovanja, treba obratiti pozornost na mnoge pozitivne aspekte za matičnu tvrtku koji se mogu



vidjeti nakon implementacije outsourcinga, bez obzira na gore spomenute čimbenike. Najčešće se iznose sljedeće prednosti outsourcinga, razmatrane na više razina (Trocki, 2001; Lachiewicz i Matejun, 2012).

I. Izravne koristi

1. Pravne koristi

- osjećaj sigurnosti koji proizlazi iz stalne suradnje s eksternom tvrtkom,
- dijeljenje rizika između uslužne tvrtke i matične tvrtke,
- prijenos odgovornosti za pružanje usluga na dobavljača.

2. Motivacijske koristi

- veća tržišna orijentacija menadžmenta i zaposlenika,
- povećano zadovoljstvo i psihološki komfor u upravljanju organizacijom,
- povećanje motivacije menadžmenta i zaposlenika.

3. Tehničko- tehnološke koristi

- Uspostavljanje suradnje s partnerskim tvrtkama s odgovarajućim kvalifikacijama potvrđenim certifikatima,
- povećanje razine korištenja resursa poduzeća,
- dostupnost vanjskih tehnoloških resursa (*know how*),
- poboljšanje parametara uspješnosti sfera djelovanja vanjskih tvrtki (njihova implementacija, troškovi, uloženi resursi, kvaliteta, vrijeme itd).

4. Prednosti za organizacijske i ljudske resurse

- pojednostavljenje organizacijske strukture i organizacijskih procedura koje se primjenjuju u poduzeću,
- brži protok informacija i bolja komunikacija unutar organizacije,
- oslobađanje unutarnjih resursa i ušteda vremena upravljanja, koje se može potrošiti na razvoj ključnih aktivnosti,
- smanjenje potrebe za angažiranjem vlastitih zaposlenika za obavljanje određenih zadataka.

5. Ekonomske i financijske koristi

- povećanje financijske discipline i povećanje kontrole troškova i prihoda,



- minimiziranje financijskih izdataka za provedbu zadataka (prvenstveno smanjenjem broja zaposlenih i drugih sredstava potrebnih za njihovo obavljanje),
- bolju strukturu troškova poduzeća,
- pretvaranje fiksnih troškova u varijabilne zahvaljujući plaćanju samo usluge vanjske tvrtke, bez potrebe za fiksnim troškovima njezine provedbe.

6. Operativne koristi

- poboljšanje kvalitete i učinkovitosti operativnih procesa u poduzeću,
- smanjenje operativnih problema.

7. Strateške koristi

- povećana strateška fleksibilnost poslovanja,
- razvoj pojedinih područja organizacije bez potrebe za ulaganjem - pružatelj usluga sam ulaže u tehnologiju i resurse potrebne za obavljanje određenih funkcija,
- pristup resursima ili kvalifikacijama koje tvrtka nema u svojoj strukturi ili ih nije u mogućnosti financirati,
- usmjerenost gospodarskog subjekta na osnovnu djelatnost i razvoj ključnih kompetencija (područja djelovanja).

II. Neizravne koristi

- diverzifikacija ili obogaćivanje tržišne ponude poduzeća,
- povećanje tržišnog udjela,
- stjecanje novih potrošača,
- veće zadovoljstvo postojećih kupaca,
- bolji natjecateljski položaj.

Međutim, outsourcing nije bez rizika. Najčešći rizici povezani s implementacijom outsourcinga prema (Clements i dr., 2004; Click i Duening, 2005) uključuju rizike:

- upravljanje ljudskim kapitalom – odnosi se kako na motivaciju zaposlenika koji prelaze u vanjska poduzeća i njihovu sposobnost brze prilagodbe novim uvjetima, tako i na gubitak njihovih znanja, kompetencija i potencijala;



- kontrola odnosa s klijentima – outsourcing poslovnih procesa može dovesti do privremenih poremećaja u odnosima s klijentima, posebno kada promjene uključuju ključna područja usluga;
- u odabiru i ocjeni pružatelja usluga – uključuju poteškoće u odabiru odgovarajućih vanjskih tvrtki, procjeni njihove kompetentnosti i potrebi prilagodbe svojih resursa potrebama organizacije;
- vezano uz kvalitetu i pravovremenost usluga – mogu postojati poteškoće u osiguravanju da isporučeni proizvodi i usluge zadovoljavaju tražene standarde i da se poštuju dogovoreni rokovi;
- ograničena fleksibilnost dobavljača – problemi mogu nastati zbog poteškoća u prilagodbi aktivnosti vanjskih strana promjenama u matičnoj organizaciji;
- pad kvalitete korisničke usluge – kratkoročno može doći do smanjenja brzine i učinkovitosti kojom se zadovoljavaju potrebe kupaca;
- povezana s razlikama u ciljevima organizacije i dobavljača – može postojati neusklađenost između strategije i ambicija tvrtke i onih outsourcing partnera;
- povezano s reorganizacijom procesa – odnosi se na potrebu za prilagodbom organizacijskih struktura kako bi se izbjegao gubitak učinkovitosti i produktivnosti;
- gubitak učinkovite razmjene informacija – outsourcing može usporiti protok informacija i spriječiti njihovo široko širenje;
- povećanje troškova u kratkom roku – iako je eksternalizacija često namijenjena smanjenju troškova, u početku može stvoriti dodatne troškove povezane s provođenjem promjena;
- pravne – proizlaze iz potencijalnih ugovornih netočnosti, regulatornih problema i pravnih sporova.



6.5. Napravi ili kupi analiza

Jedan od najvažnijih koncepata koji opravdavaju korištenje outsourcinga je koncept ***make or buy*** dileme, koji je vezan uz temeljne probleme funkcioniranja svakog poduzeća: napraviti, napraviti sam (engl. *make*), ili kupiti, outsourcati posao vanjskoj tvrtki (engl. *buy*), ali i hoće li dati projekt izvesti sam ili zajedno s drugim organizacijama (Perechuda, 2000)?

Make (proizvodnja) – omogućuje organizaciji da kontrolira svoje aktivnosti. Posebno se preporučuje kada tvrtka ima vlastite proizvode ili procese. Preporučuje se kada (www_6.1):

- je proizvod vrijedan i nije ga lako ponoviti,
- tržište dobavljača nije dobro razvijeno,
- okruženje je stabilno.

Buy (kupnja) – nabava usluga i proizvoda od vanjskih tvrtki u opskrbnom lancu pridonosi povećanju fleksibilnosti tvrtke i omogućuje joj pristup najsuvremenijim proizvodima. Ovaj se koncept preporučuje kada (www_6.1):

- nestabilnost okoliša uzrokuje visok rizik internih ulaganja,
- bavimo se konkurencijom na tržištu dobavljača,
- proizvod se ne tretira kao strateški važan.

Make-or-buy ključna je strategija tvrtke koja između ostalog uključuje:

- uvođenje novog proizvoda na tržište,
- kontrola proizvodnje,
- sustavi kvalitete,
- ljudski resursi,
- proizvodni proces,
- veličina poduzeća i njegova lokacija,
- učinkovitost mjerenja.

Početna točka *make-or-buy* ukupni su troškovi proizvodnje i nabave izračunati za usporedive serije proizvoda. Osnovna ekonomska premisa daje se jednostavnom usporedbom jedinične nabavne cijene s jediničnim varijabilnim troškom proizvodnje. Ako se utvrdi da



jedinični varijabilni trošak proizvodnje premašuje ili je jednak cijeni nabavljenog proizvoda, odluka o proizvodnji nije ekonomski opravdana (www_6.1).

U ukupnoj analizi, osim varijabilnih troškova proizvodnje, potrebno je analizirati i koji dio fiksnih troškova poduzeća treba dodati podmirenju ukupnih troškova proizvodnje? U nastavku je prikazana komparativna analiza koja predstavlja premisu za donošenje odluke "proizvesti" ili "kupiti"? (www_6.1).

Proračuni troškova proizvodnje pokazuju da:

$$K_{str} = K_s + X * k_v$$

gdje:

K_p – ukupni trošak proizvodnje x jedinica robe,

K_s – fiksni troškovi proizvodnje,

X – očekivani obim proizvodnje,

k_v – jedinični varijabilni troškovi.

Za kupovinu:

$$K_z = c * x$$

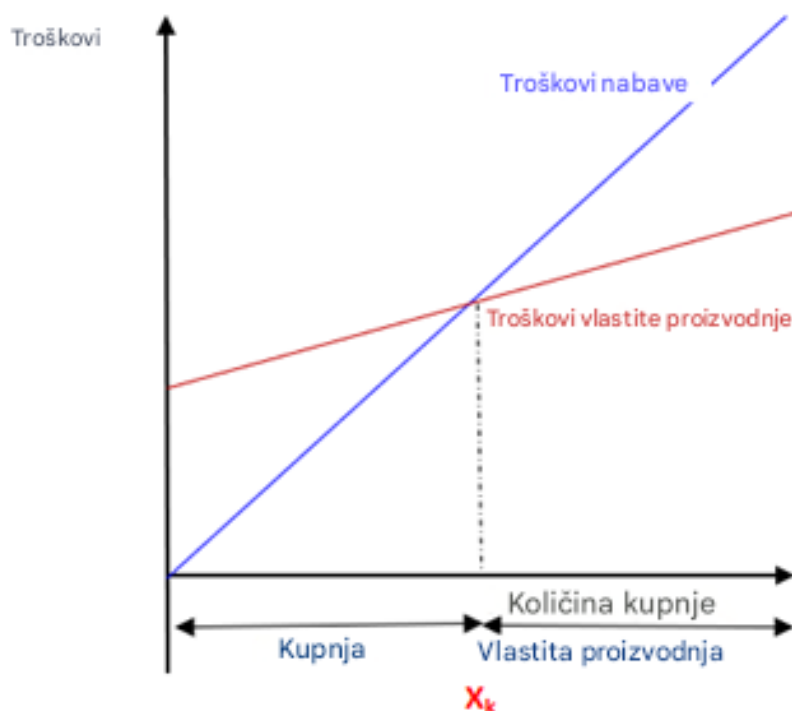
gdje:

K_z - trošak nabave,

c - jedinična cijena,

x - obujam nabave (proizvodnje).

X_k definira se kao kritični obujam proizvodnje za koji je nabavni trošak jednak trošku vlastite proizvodnje. To je vrijednost ispod koje nije isplativo krenuti u proizvodnju. Tek kada se prekorači vrijednost X_k opravdana je odluka o pokretanju proizvodnje. Gornji izračuni temeljeni su na pretpostavci da je samo cijena proizvoda važna za opciju kupnje. Međutim, ako je kupnja popraćena dodatnim financijskim izdacima (npr. troškovi transporta), tada se uzorak mora modificirati tako da se proširi odgovarajućim komponentama (slika 6.2).



Slika 6. 2. Kritični obujam proizvodnje

Izvor: (www_6.1)

Također se možete suočiti s dilemom: isplati li se ulagati u proizvodni proces s proizvodnim kapacitetom? U ovom slučaju, nakon uzimanja u obzir svih bitnih premisa koje podupiru investiciju, a ne eliminiraju razumnost kupnje – analiza troškova treba uključiti komponente investicijskog računa (www_6.1).

$$k_i = \frac{r * (1 + r)^m + k_d}{(1 + r)^m - 1}$$

gdje:

a_0 – obujam investicijskih izdataka,

r – Kamatna stopa,

m – rok korištenja investicije,

k_d – dodatne godišnje troškove vezane uz upravljanje investicijom,

k_i – investicijski troškovi,

K_p – trošak proizvodnje.



Stoga će se trošak proizvodnje izračunati prema formuli:

$$K_{str} = k_i + x + k_v$$

i trošak nabave

$$K_z = c * x$$

Ako je ispunjena nejednakost $K_z < K_p$, postoji osnova za donošenje odluke o kupnji određenog proizvoda.

Zbog mogućnosti promjene i obujma potražnje x i tržišne cijene, preporuča se odrediti **kritičnu cijenu c_k** i **kritični obujam proizvodnje X_k** kao vrijednosti kod kojih su troškovi vlastite proizvodnje i troškovi nabave jednaki.

$$c_k = \frac{k_i + x * k_v}{x}$$

U situaciji kada su početni izračuni sugerirali preporučljivost kupnje, vrijednost kritične cijene pokazatelj je do koje razine se tržišna cijena može povećati bez ugrožavanja odluke o kupnji.

$$X_k = \frac{k_i}{c - k_v}$$

Analiza *make-or-buy* može se podijeliti u četiri faze, koje su ilustrirane na slici 6.3.



Slika 6. 3. Faze outsourcinga

Izvor: (www_6.2)



Korak 1: Priprema (www_6.2)

Najprije treba definirati logističke procese, područja poduzeća koja će biti predmet promatranja u *make-or-buy* analizi, kao i aspekte na koje se treba posebno fokusirati u ovoj analizi. Postoje standardni logistički procesi, kao što su transport, skladištenje, otprema, uvoz, izvoz i carinjenje, te prateći logistički procesi, koji uključuju, na primjer, pripremu, puštanje u rad, pakiranje, povrate i popis. Ova je podjela nužna za donošenje odluke o opsegu outsourcinga kao i o operativnom modelu.

Prilikom odabira projektnog tima treba uzeti u obzir i – osim rukovodećeg osoblja, stručnjaka iz područja operativne logistike, kao i pitanja vezanih uz procjene – zaposlenike iz susjednih odjela, poput proizvodnje ili odjela ljudskih resursa, pa čak i radničko vijeće, jer će odluka o outsourcingu imati ključni utjecaj na funkcioniranje tvrtke. Nakon toga, tijekom početnog sastanka, raspravljat će se o ciljevima i koristima te će se pripremiti koncept projekta.

2. korak: prikupljanje podataka (www_6.2)

Kvaliteta naknadnih rezultata analize ovisi samo o točnosti podataka. Zbog toga je potrebno prikupiti ili pohraniti u poduzeću sve potrebne podatke o zaposlenicima i onima koji odgovaraju na pitanje moraju li se logistički sustavi, npr. industrijski kamioni ili upravljanje skladištem, prenijeti ili izvoditi od strane vanjskih subjekata. Katalog pitanja koja se mogu podijeliti na važna svakako može biti od pomoći pri donošenju odluke o outsourcingu i objašnjenju logističke situacije pojedine organizacije, npr. koliki su bruto troškovi zapošljavanja i od čega se točno sastoje? Koje je tjedno radno vrijeme? itd. i za informativna pitanja, npr. postoji li sustav za podnošenje prijedloga poboljšanja zaposlenicima?

Korak 3: Analiza (www_6.2)

U sljedećoj fazi podaci se procjenjuju i analiziraju. Rezultati *make-or-buy* analize najčešće se provode korištenjem skupa vrijednosti indikatora iz komparativne analize (*benchmark*), koji se prikupljaju tijekom operativnog izvršavanja naloga za klijente.



Korak 4: Usporedba ukupnih troškova (www_6.2)

Konačno, napravljena je jasna usporedba između logističkih troškova unutar tvrtke i logističkih troškova vanjskog pružatelja usluga. Što se tiče zaposlenika, na primjer, ukupni troškovi osoblja organizacije uspoređuju se s ukupnim troškovima osoblja vanjskog subjekta. Obično su troškovi pružatelja usluga niži zbog fleksibilnijih propisa o radnom vremenu. Outsourcing tvrtka ima mogućnost izvršiti isti zadatak s manje osoblja. Njezino stručno znanje pridonosi i optimizaciji procesa, čime se smanjuju troškovi osoblja. Međutim, cilj outsourcinga ne bi se trebao temeljiti na težnji za uštedama na zaposlenicima. U vremenima nedostatka kvalificiranog osoblja, važnije je učinkovito dodijeliti odgovarajuća radna mjesta zaposlenicima ili povećati produktivnost uz zadržavanje istog broja osoblja.

Pri izračunu ukupnih troškova mora se uzeti u obzir da odluka o outsourcingu obično uključuje prijenos dijela organizacije. To znači da će odabrano osoblje matične tvrtke prijeći u tim eksternog entiteta u određenom vremenskom roku. To može biti povezano s otpremninom ili drugim troškovima konverzije. Tu činjenicu također treba uzeti u obzir pri usporedbi ukupnih troškova. Nakon što dobijete cjelokupni izračun i analizu, možete donijeti odluku za ili protiv outsourcinga.

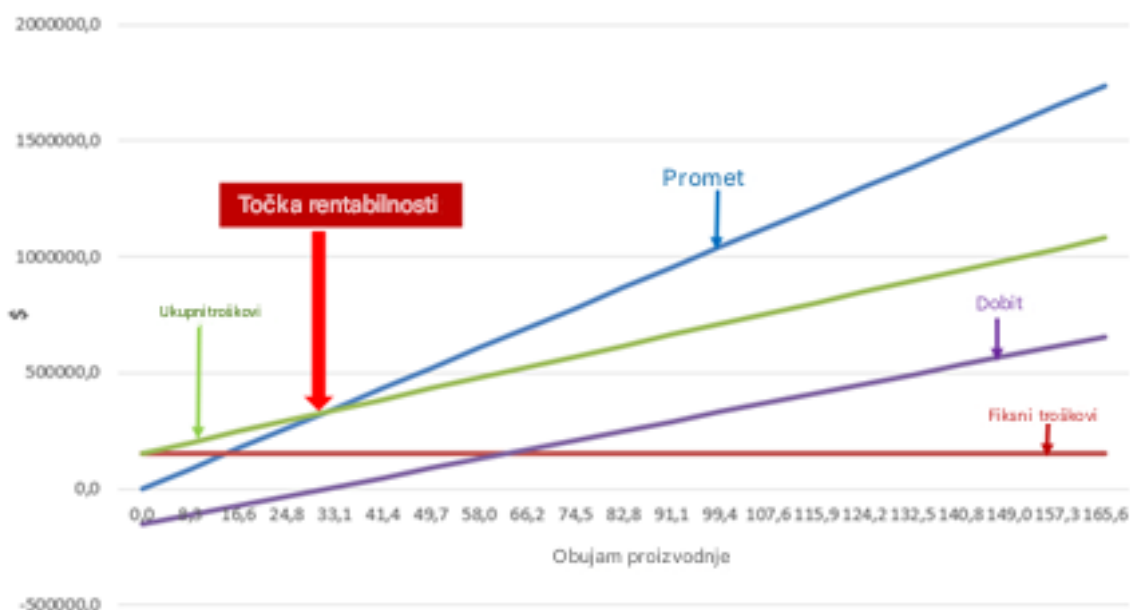


	A	B	C	D	E	F	G
1	Production (Sales)	92	pcs				
2	Unit price:	10480	\$		Break-even point:	31,5	Mg
3	Variable costs:	5600	\$			$(0+B4)/(B2-B3)$	
4	Fixed costs:	153600	\$				
5							
6		$=B2*B8$	$=B2*B3$	$=B2*B4$	$=B2*B5$	$=B2*B6$	$=B2*B7$
7	Coefficient	Production / Sales	Turnover	Variable costs	Fixed costs	Total costs	Profit
8	0,00	0,0	0,0	0,0	153600,0	153600,0	-153600,0
9	0,09	8,3	86774,4	46368,0	153600,0	199968,0	-113193,6
10	0,18	16,6	173548,8	92736,0	153600,0	246336,0	-72787,2
11	0,27	24,8	260323,2	139104,0	153600,0	292704,0	-32380,8
12	0,36	33,1	347097,6	185472,0	153600,0	339072,0	8025,6
13	0,45	41,4	433872,0	231840,0	153600,0	385440,0	48432,0
14	0,54	49,7	520646,4	278208,0	153600,0	431808,0	88838,4
15	0,63	58,0	607420,8	324576,0	153600,0	478176,0	129244,8
16	0,72	66,2	694195,2	370944,0	153600,0	524544,0	169651,2
17	0,81	74,5	780969,6	417312,0	153600,0	570912,0	210057,6
18	0,90	82,8	867744,0	463680,0	153600,0	617280,0	250464,0
19	0,99	91,1	954518,4	510048,0	153600,0	663648,0	290870,4
20	1,08	99,4	1041292,8	556416,0	153600,0	710016,0	331276,8
21	1,17	107,6	1128067,2	602784,0	153600,0	756384,0	371683,2
22	1,26	115,9	1214841,6	649152,0	153600,0	802752,0	412089,6
23	1,35	124,2	1301616,0	695520,0	153600,0	849120,0	452496,0
24	1,44	132,5	1388390,4	741888,0	153600,0	895488,0	492902,4
25	1,53	140,8	1475164,8	788256,0	153600,0	941856,0	533308,8
26	1,62	149,0	1561939,2	834624,0	153600,0	988224,0	573715,2
27	1,71	157,3	1648713,6	880992,0	153600,0	1034592,0	614121,6
28	1,80	165,6	1735488,0	927360,0	153600,0	1080960,0	654528,0
29							

Slika 6. 4. Izračun podataka za grafičko određivanje prijelomne točke

Izvor: vlastita studija

MS Excel proračunska tablica alat je za podršku odlukama o eksternalizaciji u analizi *Make-or-Buy*. U studiji slučaja tvrtke prirodne kozmetike prikazana su dva pristupa. Prvi se odnosi na određivanje **točke rentabilnosti** korištenjem grafičkih i analitičkih metoda. Ova točka označava minimalnu razinu proizvodnje za pokrivanje troškova (slika 6.4).



Slika 6. 5. Grafikon točke rentabilnosti

Izvor: vlastita studija

Koristeći podatke treba izraditi grafikon ovisnosti fiksnih troškova, ukupnih troškova, prometa i dobiti o obujmu proizvodnje. Analizom linije dobiti otkriva se točka presjeka, a analitičko određivanje točke prijeloma sastoji se u određivanju točke presjeka linija prometa i ukupnih troškova (sl. 6.5), čime se definira točka pokrića.

Na temelju rezultata može se procijeniti je li poslovanje ekonomski isplativo pri sadašnjim razinama proizvodnje? Promjene u parametrima kao što su obujam prodaje (x), cijena (c), fiksni troškovi (K_s) i jedinični varijabilni troškovi (k_v) mogu se zatim odrediti kako bi se postigla prijelomna ili planirana dobit, pomoću formule:

$$z = x(c - k_v) - K_s,$$

gdje:

 x - razina proizvodnje, c – cijena, k_v – jedinični varijabilni troškovi, K_s – fiksni troškovi.



Drugi način analize odnosi se na odluku o izradi ili kupnji. Uprava je smatrala da je proizvodnja prirodnih eteričnih ulja preskupa, što utječe na cijenu kozmetike. Kako bi se odlučilo hoće li se proizvodnja nastaviti u vlastitoj tvrtki ili će se proizvodnja prepustiti vanjskim suradnicima, provedena je dodatna analiza uzimajući u obzir kvantitativne i kvalitativne kriterije.

Identificirani su ključni kriteriji (slika 6.6, stupac A) i dodijeljeni su ponderi (q_i , stupac B). Vrijednosne prosudbe (s_i) napravljene su za obje opcije (*Make* i *Buy*) korištenjem ljestvice od šest točaka (stupci C i D). Izračunati su indeksi relativne važnosti: za vlastitu proizvodnju ($R_M = 4,24$) i za vanjsku nabavu ($R_B = 5,0$). Negativna konačna razlika od -0,76 potvrdila je superiornost kupovne opcije (*Buy*).

Radi jasnoće analize primijenjeni su logični uvjeti:

- Ako su troškovi vlastite proizvodnje niži od troškova kupnje vanjske usluge ($K_M < K_B$), a istovremeno je indeks važnosti kriterija kvalitete manji za vlastitu proizvodnju ($R_M < R_B$), treba odabrati opciju *Kupi*,
- Ako su troškovi vlastite proizvodnje viši od troškova nabave ($K_M > K_B$), a indeks važnosti kriterija kvalitete viši je za vlastitu proizvodnju ($R_M > R_B$), opcija proizvodnje (*Proizvodnja*)
- inače odluka zahtijeva daljnju analizu.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Make-or-buy decision criteria	Significance of q	Score		Indicator or cost		Decision or make-buy differences	
2			Own production (make)	Purchase (buy)	Own production (make)	Purchase (buy)		
3	Quantitative Costs [\$]				K _p Cost	K _s Cost		
4		1			80000	72000	Buy	
5	Jakościowe		Score s _i		Indicator r _i		=IF(E4<=F4;"Make";"Buy")	
6	Time, s _i =1 to max.	20,0%	4	5	0,8	1	-0,2	
7	Jakość, s _i =1 to min.	19,0%	5	4	=B6*C6	=B6*D6	=E6-F6	0,19
8	Production capacity, s _i =1 to min.	15,0%	3	6	0,45	0,9	-0,45	
9	Flexibility, s _i =1 to min.	8,0%	4	6	0,32	0,48	-0,16	
10	Financial capacity, s _i =1 to min.	12,0%	4	6	0,48	0,72	-0,24	
11	Maintaining jobs, s _i =1 to min.	7,0%	6	4	0,42	0,28	0,14	
12	Work organisation, s _i =1 to min.	5,0%	5	5	0,25	0,25	0	
13	Risk, s _i =1 to max.	5,0%	6	5	0,3	0,25	0,05	
14	Environmental protection, s _i =1 to min.	9,0%	3	4	0,27	0,36	-0,09	
15	TOTAL, R	100,0%			4,24	5	-0,76	
16	Conclusion: use the BUY option				R _p	R _B	Buy	
17								
18	=IF(AND(G3="Buy";G16="Buy");"use the BUY option";IF(AND(G3="Make";G16="Make");"Own production must be carried out";"A difficult decision"))				=SUM(E6:E14)	=SUM(F6:F14)	=IF(G15<0;"Buy";"Make")	
19								
20								

Slika 6. 6. Procjena problema *Make-or-Buy* uzimajući u obzir kvantitativne i kvalitativne čimbenike

Izvor: vlastita studija

Kao što pokazuje gornja analiza, odluke o izradi ili kupnji mogu se pokazati strateškim odlukama vezanim uz poslovanje, pa čak i buduću sudbinu tvrtke. Danas, u vrijeme velike konkurencije, kada se tvrtke bore za kupce, nastoje proizvesti vrlo kvalitetne proizvode što jeftinije. To znači da velike korporacije često prestaju proizvoditi poluproizvode za male tvrtke (www_6.1).

Pristup problemu *make-or-buy* temelji se kako na kvalitativnim tako i na ekonomskim i financijskim čimbenicima i vezan je uz odgovor na pitanje može li drugi poslovni subjekt izvršiti zadani zadatak po nižoj cijeni i/ili bolje od matičnog poduzeća. Pogrešno donesena odluka po ovom pitanju može pridonijeti povećanju operativnih i proizvodnih troškova, gubitku operativne učinkovitosti, kao i neučinkovitom korištenju resursa (Platts, Probert i Canez, 2002).



6.6. Outsourcing u logistici

U sklopu outsourcinga najčešće se outsourcaju područja koja nisu ključne kompetencije pojedine tvrtke, već je samo prate. Ukoliko logistika nije temeljna djelatnost poduzeća, delegiranje organizacije i/ili provedbe svih ili dijela logističkih procesa kompetentnim dobavljačima specijaliziranim za pružanje logističkih usluga može značajno povećati učinkovitost logističkih procesa, što se odražava na povećanje učinkovitosti organizacije. Ideja logističkog outsourcinga je izdvajanje resursa i korištenje logističkih usluga koje pružaju kvalificirane vanjske tvrtke, koje, preuzimajući vlastiti rizik i najčešće koristeći vlastite resurse, preuzimaju upravljačke i izvršne funkcije. Logistički outsourcing također uključuje kupnju različitih logističkih usluga od vanjskih dobavljača bez ispunjavanja uvjeta prijenosa resursa (Witkowski, 2008).

Prvi i najvažniji zadatak tvrtke prije nego što se odluči za outsourcing logistike je definiranje glavnih ciljeva koje planira postići prijenosom logistike izvan tvrtke. Najčešće je prvi i ključni željeni cilj smanjenje troškova (www_6.3). Odluka o opsegu logističkog outsourcinga uvelike ovisi o cijenama logističkih usluga, koje pak određuju logističke troškove gospodarskog subjekta i cijene proizvoda koji se proizvode i/ili prodaju. Kao rezultat suradnje između organizacije i logističkog operatera moguće je postići sljedeće ciljeve (Gašowska, 2016):

- poboljšanje kvalitete usluge kupcima,
- kraće vrijeme izvršenja ciklusa naloga,
- bolju kvalitetu i garanciju isporuke,
- brži protok i veća transparentnost informacija,
- učinkovitije korištenje sredstava.

Outsourcing logističkih procesa također se odnosi na sfere ključnih logističkih aktivnosti tvrtke. Poduzeća naručuju od pružatelja logističkih usluga stvaranje logističkog sustava, modeliranje logističkih procesa, stvaranje i implementaciju logističke strategije. Upućivanje na logistički subjekt kao na strateškog partnera može pridonijeti dobivanju i stabilizaciji konkurentne prednosti (Jeszka, 2013).



Strategija matične tvrtke utječe na modeliranje logističkih procesa pružatelja logističkih usluga. Jamstvo učinkovite suradnje između organizacije i vanjskog poduzeća specijaliziranog za logističke usluge je komunikacija između poduzeća koja surađuju. IT sustavi se sve više koriste za podršku odlukama vezanim uz tokove u logističkom sustavu poduzeća i opskrbnim lancima. To dovodi do brzih akcija koje dovode do optimizacije ili transformacije logističkih procesa, a kao rezultat toga, do uklanjanja povezanih rizika, minimiziranja troškova, kraćeg vremena implementacije logističkih procesa, povećane fleksibilnosti i učinkovitosti poduzeća (Gąsowska, 2016; Liu i dr., 2015).

Logistički outsourcing poboljšava učinkovitost poduzeća ako logističke usluge stvaraju očekivanu korelaciju troškova s rezultatima logističkih usluga. Ključna odrednica u procesu odlučivanja o logističkom outsourcingu trebala bi biti precizna procjena outsourcinga u smislu financijskih ušteda, ne-troškovnih koristi i procjene rizika (Gąsowska, 2016).

Za procjenu učinkovitosti logističkog outsourcinga koriste se četiri kategorije pokazatelja (Szukalski, 2016):

- promjene u troškovima – usporedbom njihovih promjena možete procijeniti uštede na području operativnih troškova koje proizlaze iz outsourcinga logistike,
- promjene u profitabilnosti – njihova analiza omogućuje procjenu utjecaja outsourcinga logistike na dobit koju poslovni subjekt ostvaruje,
- promjene u prometu – omogućuju procjenu učinkovitosti logističkog outsourcinga, ako razdvajanje logističkih procesa rezultira promjenom vrijednosti imovine,
- promjene u točki pokrića – njihova analiza prije i nakon logističkog outsourcinga omogućuje procjenu isplativosti outsourcinga. Profitabilna promjena je smanjenje točke rentabilnosti.

Analizu rizika za logistički outsourcing treba provesti u sljedećim područjima (Gąsowska, 2016):

- operativni rizik, koji proizlazi iz straha od gubitka kontrole nad logističkim procesima ili pristupa eksterne tvrtke povjerljivim informacijama,
- rizike povezane s odabirom pružatelja logističkih usluga,



- rizik kvalitete logističkih usluga i posljedice nepravilnosti u pojedinim logističkim procesima,
- rizike povezane sa osiguravanjem povjerljivih informacija tvrtke,
- rizik povezan s uvođenjem organizacijskih promjena u poduzeću.

Proces outsourcinga općenito se može podijeliti u tri faze (www_6.3):

1. **Interne pripreme** tvrtke – svrha ove faze je započeti razgovore s pružateljima logističkih usluga. Ovisi prije svega o tome je li tvrtka koja planira prenijeti skladišne funkcije na uslužnu tvrtku sposobna prikupiti sve informacije o skladišnim zalihama za razdoblje od najmanje nekoliko mjeseci te jesu li definirani procesi donošenja odluka primjenjivi u organizaciji, kao i uvjeti za odabir pružatelja logističkih usluga. Ovisno o stupnju složenosti logističkih procesa i veličini poduzeća, treba pretpostaviti da vrijeme internih priprema za početak pregovora s logističkim stručnjacima može biti od jednog do šest mjeseci. Ova faza trebala bi završiti raspisivanjem natječaja za logističke usluge sa svim potrebnim podacima koji bi bili povjereni određenoj grupi logističkih dobavljača.
2. **Pozivanje vanjskih tvrtki** da dostave svoje prijedloge logističkih usluga, trgovinski pregovori i odabir organizacije koja će u konačnici preuzeti logističke usluge. Drugi dio procesa, uključujući razgovore i pregovore s odabranim pružateljima logističkih usluga, može trajati od tri mjeseca do oko pola godine. To je razdoblje potrebno za izradu ponuda i sve ostale aktivnosti koje prate ovaj zadatak: komercijalne rasprave, postupno sužavanje kruga pružatelja usluga u narednim fazama natječaja, do odabira pobjednika.
3. **Implementacija**, odnosno rad s odabranim poslovnim subjektom na realizaciji projekta i fizičkom prijenosu skladišnih zaliha pod upravljanjem operatera. Treća faza obično traje četiri do šest mjeseci. Naravno, razdoblje provedbe operacije rezultat je mnogih čimbenika, a u projektima s više aspekata provedba može trajati puno dulje. Uvijek vrijedi uzeti u obzir malo vremena u slučaju nepredviđenih okolnosti.



Tablica 6. 4. Osnovne vrste outsourcinga

Prednosti logističkog outsourcinga	Nedostaci outsourcinga logistike
Optimiziranje troškova i smanjenje rizika ulaganja	Strah zaposlenika od otkaza i demotivacija
Sposobnost fokusiranja na pravi posao	Djelomičan gubitak kontrole nad izvršenjem naloga.
Poboljšanje tijeka procesa i podjele odgovornosti	Odabir partnera s manjkom kompetencija
Poboljšanje kvalitete usluga potrošačima	Postati ovisan o davatelju usluga
Povećava se konkurentnost	Mogući problemi s koordinacijom i internom komunikacijom

Izvor: (www_6.4)

Povećanje učinkovitosti logističkih procesa dobiveno zahvaljujući outsourcingu logistike utječe na učinkovitost upravljanja u poduzeću i opskrbnog lanca (Kowalska, 2011). Suradnja poduzeća s tvrtkama koje pružaju logističke usluge može doprinijeti smanjenju troškova, poboljšanju financijske likvidnosti, povećanju profitabilnosti prodaje, povratu na imovinu, povratu na kapital, poboljšanju pokazatelja (Gąsowska, 2016).

PITANJA POGLAVLJA

1. Koji su potencijalni rizici povezani s outsourcing procesima u tvrtki?
2. Koji su glavni čimbenici koji utječu na odluku o odabiru strategije "napravi" ili "kupi" u kontekstu poslovanja tvrtke?
3. Koji su ključni podaci koje treba prikupiti kako bi se ispravno procijenila potreba za outsourcingom logističkih sustava?

LITERATURA

Brzeziński, M. (2015) Inżynieria systemów logistycznych. WAT, Warszawa.

Gąsowska, M. (2016). Outsourcing logistyczny jako narzędzie doskonalenia efektywności przedsiębiorstwa, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie, z.97.

Jeszka, A.M.(2013). Sektor usług logistycznych w teorii i w praktyce, Difin, Warszawa.



- König A. i Spinler S. (2016). The effect of logistics outsourcing on the supply chain vulnerability of shippers in *The International Journal of Logistics Management*, no. 1.
- Kowalska, K. (2011). Efektywność procesów logistycznych w strategii zarządzania przedsiębiorstwem, [in:] Witkowski J., Baraniecka A. (ed): *Strategie i logistyka w sektorze usług. Logistyka w nietypowych zastosowaniach*. Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław.
- Lachiewicz, S. i Matejun, M. (2012). Ewolucja nauk o zarządzaniu, [in:] Zakrzewska-Bielawska A. (ed), *Podstawy zarządzania*, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa.
- Liu, Ch., Huo, B. i Liu S., Zhao X. (2015). Effect of information sharing and process coordination on logistics outsourcing. *Industrial Management i Data Systems*, no. 1.
- Matejun M. (2015). Outsourcing, [in:] Szymańska K. (ed), *Kompedium metod i technik zarządzania. Teoria i ćwiczenia*, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa.
- Matejun, M. (2006). Rodzaje outsourcingu i kierunki jego wykorzystania, *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Organizacja i Zarządzanie*, 42.
- Matejun, M. (2007). Zakres wykorzystania wybranych obszarów outsourcingu w sektorze MŚP, [in:] Otto J., Stanisławski R., Maciaszczyk A. (ed), *Innowacyjność jako czynnik podnoszenia konkurencyjności przedsiębiorstw i regionów na Jednolitym Rynku Europejskim*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- Perechuda, K. (ed) (2000). *Zarządzanie przedsiębiorstwem przyszłości. Koncepcje, modele, metody*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
- Platts, K.W., Probert, D.R. i Canez, L. (2002). Make vs. Buy Decisions: A Process Incorporating Multi-attribute Decision-making, *International Journal of Production Economics*, 77(3).
- Szukalski, S.M. (2016). Metody oceny efektywności rozwiązań outsourcingowych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, nr 2.
- Trocki, M. (2001). *Outsourcing*, PWE, Warszawa.
- Witkowski, J. (2008). Uwarunkowania i perspektywy rozwoju outsourcingu logistycznego w Europie, [in:] Gołemska E., Schuster M. (ed): *Logistyka międzynarodowa w gospodarce światowej*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.



(www_6.1) https://mfiles.pl/pl/index.php/Analiza_make-or-buy, (access 2024.01.07)

(www_6.2) <https://www.lila-logistik.com/pl/make-or-buy>, (access 2024.01.07)

(www_6.3) <https://log24.pl/news/proces-zarzadzania-outsourcingiem-logistycznym>, (access 2024.01.07)

(www_6.4) <https://wareteka.pl/blog/outourcing-logistyczny-co-to-jest-jakie-ma-wady-i-zalety/>, (access 2024.01.07)



7. OPTIMIZACIJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE POMOĆU GRAVITACIJSKE TOČKE



U poglavlju se raspravlja o problemu optimizacije logističke mreže korištenjem Gravitacijske točke (engl. *Gravity Model*). Mreža opskrbnog lanca pretvara sirovine u finalne proizvode i, naravno, isporučuje ih krajnjim kupcima (potrošačima). Uključuje različite vrste objekata. Projektiranje mreže lanca opskrbe (SCND) važno je pitanje povezano s upravljanjem lancem opskrbe (SCM). Najvažnija pitanja o kojima se govori u ovom poglavlju uključuju:

- Mreža opskrbnog lanca,
- Distribucijska mreža,
- Točka gravitacije.

7.1. Uvod

Dizajniranje mreže opskrbnog lanca (engl. *Supply Chain Network Design*, SCND) važno je pitanje povezano s upravljanjem lancem opskrbe (SCM). Opskrbni lanac se shvaća kao složena mreža poduzeća i objekata, od kojih je većina raspoređena na velikom geografskom području. Ovaj opskrbeni lanac trebao bi sinkronizirati niz međusobno povezanih aktivnosti kroz mrežu.

Mreža opskrbnog lanca pretvara sirovine u finalne proizvode i, naravno, isporučuje ih krajnjim kupcima (potrošačima). Uključuje različite vrste objekata. Planiranje i projektiranje mreže opskrbnog lanca stoga se usredotočuje na prepoznavanje broja i vrsta pojedinačnih veza i koordinaciju aktivnosti među njima. Tipične karike u mreži opskrbnog lanca sastoje se



od dobavljača i podizvođača, proizvodnih i montažnih pogona, distribucijskih centara, skladišta i kupaca (Govindan i dr., 2017). Tipični tokovi materijala odvijaju se od dobavljača do kupaca. Mogu se razlikovati i obrnuta tokovi (tzv. obrnuta logistika). Također valja uzeti u obzir i potrebu planiranja i projektiranja tokova i rješavanja problema povezanih s mnogim varijantama/vrstama proizvoda. Analiza vezana uz lokaciju određenog objekta u opskrbnom lancu važno je pitanje za rad i troškove opskrbnog lanca.

7.2. Logistička mreža

Složenost mreže opskrbnog lanca je važna i utječe na odluke o planiranju zajedno s klasičnim odlukama o dodjeli lokacije za postizanje integriranog sustava (Govindan i dr., 2017).

S obzirom na tri razine odlučivanja, na **strateškoj razini** potrebno je donijeti odluke o opskrbnom lancu kao što su: (1) broj, (2) lokacija i (3) kapacitet objekata. Strateške odluke obično imaju vremenski horizont od otprilike tri do pet godina. Strateške odluke koje se tiču dizajna logističke mreže utječu na učinkovitost usluge potražnje kupaca. Odluke o dizajnu ne mogu se donijeti bez razmatranja utjecaja na operativne odluke. **Taktičke odluke** obično traju od tri mjeseca do tri godine. Na primjer, odluke o cijenama obično se postavljaju na razinu taktičkog planiranja. **Operativne odluke** (npr. odluke o ruti vozila) često se kreću od jednog sata do jednog tromjesečja (Govindan i dr., 2017). Naravno, opseg donesenih odluka može ovisiti o prirodi opskrbnog lanca.

Odabir najbolje lokacije za poslovni objekt može se promatrati u smislu opće ili specifične lokacije. Opća lokacija definira određeni prostor na kojem će se smjestiti određeni gospodarski objekt.

Mnogo je čimbenika koji utječu na mjesto objekta u opskrbnom lancu. To su između ostalog:

- izvori sirovina i lokacija tržišta za materijale za proizvodnju (uglavnom sirovine, komponente),
- industrijske tradicije regije, uključujući dostupnost dobavljačima i kupcima (osobito važno za djelatnost posredničkih veza),



- radna snaga (mogućnosti zapošljavanja, naknada, dostupnost, razina kvalifikacija),
- mogućnosti opskrbe energetske faktorima,
- porezni propisi i administrativna ograničenja,
- klima i terenski uvjeti,
- dostupnost cesta i prometnih točaka,
- karakteristike stanovništva, društveno-politički odnosi,
- karakteristike infrastrukture (ceste, škole, komunikacije),
- mogućnost proširenja objekta.

Međutim, detaljna lokacija označava određenu nekretninu ili područje na kojem će se objekt graditi. Odabir detaljne lokacije vezan je uz, primjerice, njezinu tehničku infrastrukturu, dostupnost prometne infrastrukture (lokalne ceste), kao i lokalni razvojni plan.

Detaljnije, također biste trebali uzeti u obzir:

- stope plaća u susjednim pogonima,
- mogućnosti komunikacije za posadu i putne naknade,
- mogućnost kupnje željenog zemljišta u odabranoj regiji,
- ceste, autoceste i razvoj zemljišta s vodovodnom i plinskom mrežom,
- sigurnosne zone za mirise, buku i zagađenje,
- teren koji omogućuje izgradnju proizvodnih i pomoćnih objekata, parkirališta
- mogućnost budućeg proširenja u skladu s potrebama proizvodnog procesa i zahtjevima arhitektonsko-građevinskih tijela.

Opseg detaljne lokalizacije nije obuhvaćen ovom studijom.

Važno je zapamtiti da opskrbni lanci rade u promjenjivom okruženju. Često se događa da se objekti zatvaraju, otvaraju ili ponovno otvaraju više puta unutar utvrđenog planskog horizonta. Dinamika tržišta tjera na donošenje druge odluke, odnosno na pitanje povećanja, smanjenja ili prijenosa proizvodnih kapaciteta objekata u logističkoj mreži. Drugo važno pitanje je bilo kakva vrsta **poremećaja** u funkcioniranju opskrbnih lanaca. Prekid lanca opskrbe je događaj koji se može dogoditi u dijelu lanca opskrbe zbog, primjerice, prirodnih katastrofa (npr. potresa i poplava) i namjernih ili nenamjernih ljudskih radnji (npr. ratovi i teroristički



napadi). Identificira se kao događaj koji prekida protok materijala u opskrbnom lancu, uzrokujući iznenadni prekid protoka robe. Čak i mali poremećaj može imati razoran učinak na funkcioniranje lanaca opskrbe jer se proteže kroz lanac (Grzybowska i Stachowiak, 2022). A budući da su opskrbni lanci složene i heterogene strukture, osjetljivi su na prijetnje i njima je teško upravljati.

Distribucijska mreža, često nizvodni dio opskrbe mreže, sastoji se od tokova proizvoda od skladišta do kupaca ili trgovaca na malo. Projektiranje takve mreže zahtijeva rješavanje dva teška problema kombinatorne optimizacije, uključujući određivanje lokacije objekta i rute vozila koja će opsluživati korisnike.

7.3. Koncept korištenja gravitacijskog modela u logističkoj mreži

Izgradnja razumne logističke mreže ključ je razvoja regionalne logistike. Gravitacijski model izveden je iz Newtonove gravitacije – podsjetimo: zakon gravitacije je zakon univerzalne gravitacije, čija je svrha opisati silu kojom se tijela međusobno privlače.

Postupno se koncept primjene gravitacijskog modela primijenio i na druge studije, područja i polja po analogiji s fizikom. U svojoj kasnijoj ekspanziji, osim što je dokazala postojanje same teorije gravitacijskog modela, primijenjena je na mnoge discipline. Među njima su najrazvijenija istraživanja vezana uz trgovinu, urbano prostorno povezivanje i logistiku:

- Reilly je prvi upotrijebio gravitacijski model za proučavanje odnosa između gradova (1929),
- Stewart je predložio koncept gravitacijskog modela (1948),
- Tinbergen je uveo gravitacijski model (GM) u međunarodnu trgovinu (1962),
- Huff je predložio korištenje gravitacijskog modela za procjenu tržišnog udjela (1963),



- Bergstrand je razjasnio stranu ponude gospodarstava, ukazujući na teorijske temelje odnosa između obdarenosti faktorima proizvodnje i trgovine s konstantnom elastičnošću transformacije (CET) (1989),
- Kong i suradnici ispitivali su dizajn mreža zelenih površina koristeći gravitacijski model (2010),
- Duanmu i suradnici razvili su model spregnute gravitacije i genetski algoritam za proučavanje distribucije naboja (2012),
- Puertas i sur. Su koristili gravitacijski model za analizu logističke mreže - procjena indeksa učinkovitosti logistike (2014),
- Zhu i Fan koristili su gravitacijski model za proučavanje intenziteta logističkih veza u unutarnoj regionalnoj logistici (2017).

Udaljenost je u Newtonovom modelu aproksimacija otpora gibanju, odnosno čimbenik koji slabi silu privlačenja. To znači da što su partneri udaljeniji jedni od drugih, to je njihova međusobna trgovina manje intenzivna. Glavni razlog za to je postojanje troškova trgovinske transakcije, koji rastu s povećanjem geografske udaljenosti. Ovi troškovi uključuju, između ostalog: troškove transporta ili osiguranje tereta (Bułkowska, 2018).

Geografski položaj oduvijek je bio čimbenik koji je određivao poslovne aktivnosti. Promijenili su se smisao i mogućnosti transporta. Geografija je jedan od glavnih izvora troškova trgovine, odnosno prostorne karakteristike zemalja koje utječu na njihove troškove domaćeg i međunarodnog transporta. Značajke koje se uzimaju u obzir uključuju geografsku udaljenost između objekata ili zemalja. U slučaju analize zemlje, analiza uključuje odgovore na pitanja: imaju li zemlje zajedničku granicu?, jesu li zemlje bez izlaza na more?, jesu li otočne zemlje? Intuicija sugerira da veća geografska udaljenost, nepostojanje zajedničke granice i/ili veća udaljenost od trgovačkog partnera negativno utječu na troškove transporta. Stoga ima negativan utjecaj na međunarodnu trgovinu. Te se posljedice mogu ublažiti razvojem infrastrukture kao što je izgradnja autocesta, tunela, zračnih luka i luka (Azmi i dr., 2024).

Jedan od čimbenika lokacije poslovnih objekata je i blizina prodajnog tržišta. Ovo susjedstvo dobiva novo i ključno značenje. Ponovno postaje prednost nakon iskustva s pandemijom COVID-19 i u vezi s poboljšanjem otpornosti opskrbnih lanaca na poremećaje.



Ovo se posebno odnosi na tvrtke koje:

- proizvoditi ili opskrbljivati kvarljivu robu,
- karakterizira visoka cjenovna elastičnost ponude ili ponuđenih usluga,
- proizvodnja proizvoda koji se odlikuju velikom varijabilnošću potražnje,
- proizvoditi ili prevoziti robu koja je teška za transport.

7.4. Tipični proces donošenja odluka o lokaciji objekta u opskrbnom lancu

Kratkoročno, upravitelj mora djelovati unutar ograničenja koja nameće lokacija. Međutim, dugoročno gledano, lokacija postaje varijabla i menadžer može donijeti odluku o promjeni lokacije kako bi zadovoljio zahtjeve kupaca, dobavljača ili promjene koje nameću konkurenti.

Vanjski čimbenici koji utječu na motivaciju za analizu lokacije novog objekta ili promjenu lokacije objekta su:

- širenje na nova tržišta,
- premještanje stambenih klastera,
- prijetnje konkurencije,
- pojava novih tržišta opskrbe.

Lokacija mora zadovoljiti dva kriterija: kvantitativni (cijena) i kvalitativni. Prvo se razmatraju kvantitativni kriteriji. Uzorak lokacije objekta ima oblik:

$$C = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

gdje:

C – centar mase

d_i – udaljenost od točke 0 na mreži do mjesta izvora sirovine j

D_i – udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora prodaje tržišta i

S_i – težinski volumen sirovina kupljenih od dobavljača i



M_i – težinski volumen gotovih proizvoda prodanih na tržištu i

r_i – transportna stopa za gotov proizvod i

R_i – transportna stopa za sirovinu i .

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:

centar mase = a + b / c+d

a = SUM [transportna stopa za sirovinu (i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora sirovine (i) * težina volumen sirovine (i)]



b = SUM [transportna stopa za gotov proizvod (i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora tržišta (i) * težina volumen gotovog proizvoda (i)]

c = SUM [transportna brzina za sirovinu (i) * težina volumen sirovine (i)]

d = SUM [transportna stopa za gotov proizvod (i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora tržišta (i)]

7.5. Dezagregirani i agregirani modeli gravitacije

Postoje mnoge varijante gravitacijskog modela koje se mogu koristiti za simulaciju tokova između trgovaca i potrošača. Odabir modela ovisi o svrsi njegove uporabe i podacima koji su dostupni za uklapanje u model. Pri odabiru gravitacijskog modela bitan faktor je i stupanj agregacije. Interakcije kupnje između potrošača i trgovaca na malo mogu se predstaviti **raščlanjenim modelom** koji procjenjuje ponašanje potrošača. Također se može prikazati u **agregiranom modelu**. U ovoj se varijanti maloprodajna mjesta u zoni ocjenjuju skupno (Schlaich, 2020). U agregatnim modelima nestaju karakteristike pojedinačnih trgovina i točne udaljenosti između potrošača i trgovca. S druge strane, agregacija u zone značajno smanjuje složenost modela kako se skup odredišta smanjuje.



Od svih modela prostorne interakcije u maloprodaji, Huffov (1963) gravitacijski model jedan je od najčešće korištenih. U svom početnom obliku, ovaj model izračunava vjerojatnosti pokroviteljstva ovisno o veličini trgovine i udaljenosti transporta.

U gravitacijskim modelima važno je odrediti varijablu koja opisuje "snagu međusobnog privlačenja" trgovinskih partnera, odnosno modelski objašnjenu (ovisnu) varijablu. Gravitacijski modeli pružaju geografima i ekonomistima fleksibilan alat za analizu.

7.6. Model uravnotežene gravitacije

Model uravnoteženog težišta koristi se za određivanje lokacije pojedinog gospodarskog objekta (npr. skladišta). Uzima u obzir izvore potražnje različite važnosti i lokacije. Lokacija se određuje pomoću koordinata (X, Y), koje označavaju položaj točke na karti. Važnost je povezana s, primjerice, količinom isporuka, brojem ljudi koji žive na određenoj lokaciji ili prodajnom vrijednošću. Može se koristiti i drugi indikator, važno je da je pravilno prilagođen situaciji. Opisana metoda koristi ponderirane koeficijente točke opskrbe, čime se generira točka na karti označena koordinatama.

Za metodu ponderiranog težišta upotrijebite model:

$$X^* = \frac{\sum W_i \cdot X_i}{\sum W_i}$$
$$Y^* = \frac{\sum W_i \cdot Y_i}{\sum W_i}$$

gdje,

X_i, Y_i – koordinate i-tog izvora potražnje

W_i – težina i-tog izvora potražnje

Ponderirane koordinate (X^*, Y^*) izračunate pomoću modela pokazuju odgovarajuću lokaciju opskrbe točke, uzimajući u obzir važnost pojedinih izvora potražnje.



To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:



koordinate točke opskrbe (X) = SUM [(ponderirani pokazatelj izvora potražnje_(i) * koordinate X_(i))] / SUM koordinate X_(i)

koordinate točke opskrbe (Y) = SUM [(ponderirani pokazatelj izvora potražnje_(i) * Y koordinate_(i))] / SUM Y koordinate_(i)

Metoda uravnoteženog težišta omogućuje određivanje položaja jednog gospodarskog objekta na odabranom geografskom području. Metoda je jednostavna za korištenje i svodi se na određivanje dva parametra na geografskoj mreži.

Proširenje ove metode je model:

$$Koordinate_{(X,Y)} = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

gdje,

Koordinate_(X,Y) – težište

r_i – transportna stopa za gotov proizvod *i*

d_i – udaljenost od točke 0 na mreži do mjesta izvora sirovine *i*

S_i – težinski volumen sirovina kupljenih od dobavljača *i*

R_i – transportna stopa za sirovinu *i*

D_i – udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora prodaje tržišta *i*

M_i – težinski volumen gotovih proizvoda prodanih na tržištu *i*

Izračuni se izvode za okomite i vodoravne koordinate.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:



Brojnik (X) = SUM (stopa transporta za gotov proizvod_(i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora sirovina_(xi) * volumen mase sirovina kupljenih od izvora opskrbe_(i)) + SUM (stopa transporta za sirovinu_(i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke



lokacije izvora tržišta (x_i) * volumen mase gotovih proizvoda prodanih na tržištu (i)

Nazivnik = SUM (vozarina za gotov proizvod (i) * težina volumena sirovina kupljenih od izvora opskrbe (i)) + SUM (vozarina za sirovinu (i) * težina volumena gotovih proizvoda prodanih na tržištu (i))

koordinate točke opskrbe (X) = brojnik (x) / nazivnik

Brojnik (y) = SUM (stopa transporta za gotov proizvod (i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora sirovina (y_i) * volumen mase sirovina kupljenih od izvora opskrbe (i)) + SUM (stopa transporta za sirovinu (i) * udaljenost od točke 0 na mreži do točke lokacije izvora tržišta (y_i) * volumen mase gotovih proizvoda prodanih na tržištu (i))

Nazivnik = SUM (vozarina za gotov proizvod (i) * težina volumena sirovina kupljenih od izvora opskrbe (i)) + SUM (vozarina za sirovinu (i) * težina volumena gotovih proizvoda prodanih na tržištu (i))

koordinate točke opskrbe (Y) = brojnik (y) / nazivnik

7.7. Gravitacijski model u međunarodnoj trgovini

Tinbergen (1962) je prvi dao intuitivno objašnjenje bilateralnih trgovinskih tokova u međunarodnoj trgovini. Njegova su otkrića postavila temelje za moderni model gravitacije, koji pretpostavlja da je trgovina među nacijama izravno proporcionalna veličini njihovih gospodarstava i obrnuto proporcionalna troškovima trgovine. Ovo treba shvatiti na sljedeći način:

- očekuje se da će veće zemlje više trgovati,
- očekuje se da će zemlje koje su udaljenije manje trgovati (vjerojatno zbog viših troškova trgovine).

Od tada se model naširoko koristi u industrijskoj literaturi za objašnjenje međunarodnih trgovinskih tokova. Zbog učinkovitosti modela gravitacije u istraživanju trgovine, vidjeli smo



značajan porast upotrebe modela gravitacije za procjenu različitih aspekata međunarodne trgovine (Azmi i dr., 2024).

$$X_{ij} = \alpha_i + \beta_1 \cdot GDP_i + \beta_2 \cdot GDP_j + \beta_3 \cdot TC_{ij} + \mu_i$$

gdje:

X_{ij} – tok u međunarodnoj trgovini iz zemlje i u zemlju j

GDP_i i GDP_j – bruto domaći proizvod zemlje podrijetla i zemlje odredišta

TC_{ij} – trošak trgovine između dviju zemalja, procijenjen geografskom udaljenošću između glavnih gradova

μ_i – slučajna greška

α_i – sjecište modela

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – koeficijenti koji mjere utjecaj eksplanatornih varijabli.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:



trgovinski tok = odsječak + koeficijent ₍₁₎ * prihod zemlje izvoznice + koeficijent ₍₂₎ * prihod zemlje uvoznice + koeficijent ₍₃₎ * trošak trgovine između dvije zemlje + slučajna pogreška

Poznate su i razne varijante predstavljenog modela. Ispod je jedna od njih:

$$X_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot y_i + \beta_2 \cdot y_j + \beta_3 \cdot n_j + \beta_4 \cdot n_i + \beta_5 \cdot d_{ij} + \beta_6 \cdot D_{ij} + \mu_{ij}$$

gdje:

X_{ij} – tok robe (izvoz ili uvoz iz zemlje i u zemlju j)

y_i – prihod zemlje izvoznice i

y_j – prihod zemlje uvoznice j

n_j – broj stanovnika zemlje i, j

d_{ij} – udaljenost između zemalja i i j

D_{ij} – lažna varijabla s vrijednošću 1 ako su zemlje i i j članice određenih povlaštenih trgovinskih područja, a 0 u suprotnom



β_0 – predstavlja točku presjeka

$\beta_1 - \beta_6$ – koeficijenti $y_i, y_j, n_j, n_i, d_{i,j}, D_{ij}$ respectively

μ_i – slučajna greška.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:



trgovinski tok = odsječak + koeficijent ₍₁₎ * prihod zemlje izvoznice + koeficijent ₍₂₎ * prihod zemlje uvoznice + koeficijent ₍₃₎ * stanovništvo zemlje j + koeficijent ₍₄₎ * stanovništvo zemlje i + koeficijent ₍₅₎ * udaljenost između zemalja + koeficijent ₍₆₎ * lažna + slučajna pogreška

7.8. Gravitacijski model lociranja konkurentskih objekata

Većina konkurentnih modela lokacije objekata pretpostavlja da se sva raspoloživa kupovna moć dijeli među konkurentskim objektima.

Lajtmotiv svih konkurentskih lokacijskih modela je postojanje međupovezanosti između četiri varijable: kupovna moć (potražnja), udaljenost, atraktivnost objekta i tržišni udjel. Prve navedene varijable su nezavisne varijable, dok je tržišni udjel zavisna varijabla.

Svaki konkurentski objekt, npr. poslovni objekt, ima "sferu utjecaja". Određena je njegovom razinom privlačnosti. Atraktivniji objekti imaju veći radijus svoje sfere utjecaja. Kupovna moć koju troši potrošač u sferi utjecaja nekoliko objekata ravnomjerno se dijeli između konkurentskih objekata (Drezner i Drezner, 2016).

Konkurentni lokacijski modeli imaju niz primjena, npr. omogućuju lociranje trgovačkih centara, trgovina (npr. trgovine mješovitom robom, specijalizirane trgovine - kućanskih aparata, obuće, knjižare, računala, nakita..), restorana (fast food, kafići, sladoledarnice..), benzinskih postaja, poslovnica banaka i drugo.



7.9. Gravitacijski model za interkontinentalni opskrbeni lanac

Gravitacijski modeli mogu poslužiti kao prikladni alati za procjenu isporuke tereta u luke, pri čemu troškovi vremena i udaljenosti igraju važnu ulogu (Wang i Li, 2021). Kako bi analizirao obrasce interakcije maloprodajnih regija povezanih s različitim aglomeracijama, Reilly je stvorio gravitacijski model tokova robe kao:

$$X_{ij} = \alpha \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2}$$

gdje:

X_{ij} – tijek u opskrbnom lancu

d_{ij} – prostorna udaljenost

P_i, P_j – stanovništvo u mjestu podrijetla i i odredišta j

α – koeficijent gravitacije, konstanta jednaka 1.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:



protok u opskrbnom lancu = koeficijent gravitacije * stanovništvo u mjestu _(i) * stanovništvo u mjestu _(j) / prostorna udaljenost ²

U ovom modelu poznata je lokacija svih nodalnih gradova. Gravitacijska sila između gradova može se odrediti veličinom grada i prostornom udaljenošću.

PITANJA POGLAVLJA

1. Koji vanjski čimbenici utječu na odluku o preseljenju objekta?
2. Koje su glavne prednosti i ograničenja korištenja različitih varijanti gravitacijskog modela za simulaciju tokova između trgovaca i potrošača?



LITERATURA

- Azmi, S. N., Khan, K. H., i Koch, H. (2024). Assessing the effect of INSTC on India's trade with Eurasia: an application of gravity model. *Cogent Economics i Finance*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2313899>
- Bergstrand J.H. (1989) The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor-proportions theory in international trade, *Review of Economics and Statistics*, 71(1), 143-153.
- Bułkowska M. (2018) Model grawitacyjny w handlu zagranicznym: wybrane aspekty teoretyczne i metodyczne. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (529), 39-47.
- Drezner, T., i Drezner, Z. (2016). Sequential location of two facilities: Comparing random to optimal location of the first facility. *Annals of Operations Research*, 246, 1-15.
- Duanmu J., Foytik P., Khattak A. i Robinson R.M. (2012) Distribution analysis of freight transportation with gravity model and genetic algorithm. *Transportation research record*, 2269(1), 1-10.
- Govindan K., Fattahi M. i Keyvanshokoo E. (2017) Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, *European Journal of Operational Research*, 263(1), 108-141.
- Grzybowska K. i Stachowiak A. (2022) Global changes and disruptions in supply chains – preliminary research to sustainable resilience of supply chains. *Energies*, 15 (art. 4579), 1-15.
- Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land economics*, 39(1), 81-90.
- Kong F., Yin H., Nakagoshi N. i Zong Y. (2010) Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and urban planning*, 95(1-2), 16-27.
- Puertas R., Martí L. i García L. (2014) Logistics performance and export competitiveness: European experience. *Empirica*, 41, 467-480.



Reilly, W. J. (1929). Methods for the study of retail relationships (Vol. 44). Austin: University of Texas, Bureau of Business Research.

Schlaich T., Horn A.L., Fuhrmann M. i Friedrich H.(2020) A Gravity-Based Food Flow Model to Identify the Source of Foodborne Disease Outbreaks. International Journal of Environmental Research and Public Health. 17(2):444. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020444>

Stewart J.Q. (1948) Demographic gravitation: evidence and applications. Sociometry 11(1/2), 31-58.

Tinbergen J. (1962) Shaping The World Economy Suggestions for an International Economic Policy, The Twentieth Century Fund, New York.

Wang H. i Li M. (2021) Improved gravity model under policy control in regional logistics. Measurement and Control, 54(5-6), 811-819. doi:10.1177/0020294020919849

Zhu X. i Fan Y. (2017) Research on the construction of regional hub-and-spoke logistics network in Guangxi under the gravity model. Bus Econ Res, 9, 214-217.



8. PREDVIĐANJE POTRAŽNJE



U poglavlju se govori o teoriji predviđanja. Posebna pažnja posvećena je predviđanju potražnje. To je predviđanje budućih događaja vezanih za potražnju čiji je cilj minimiziranje rizika povezanih s donošenjem poslovnih odluka. Najvažnija pitanja o kojima se govori u ovom poglavlju uključuju:

- principi i trendovi predviđana,
- predviđanje pomoću vremenskih serija,
- postupak za izradu prognoza na temelju vremenskih serija,
- predviđanje metode i pogreške,
- pitanje umjetne inteligencije u predviđanju.

8.1. Uvod

Predviđanje je široko korištena, multidisciplinarna znanost. To je važna aktivnost koja se koristi za donošenje poslovnih odluka u mnogim područjima planiranja: ekonomskom, industrijskom i znanstvenom (Chatfield, 2001). Izgrađena prognoza podržava donošenje mikro i makroekonomskih odluka. Također podržava poduzimanje radnji za aktiviranje ili suprotstavljanje nekom fenomenu. Također je izvor vrijednih informacija. Predviđanje se može nazvati i prognoziranjem; prognoziranje buduće potražnje, prognoziranje prodaje ili novog trenda. Stoga se mogu predvidjeti promjene tržišnih uvjeta kojima se tvrtka mora prilagoditi.

Međutim, oo predviđanje se ne može temeljiti samo na intuiciji menadžera, već se predviđanje mora temeljiti na **racionalnim, obično znanstvenim osnovama**.

Predviđanje je zaključivanje o nepoznatim događajima na temelju poznatih događaja (Cieślak, 2005). Na primjer, može se predvidjeti da će se: (1) događaj dogoditi jer se dogodio



u prošlosti; (2) događaj će se dogoditi jer njegova učestalost to ukazuje; (3) događaj će se dogoditi jer je povezan s drugim događajima koji su se dogodili (Dittmann, 2003).

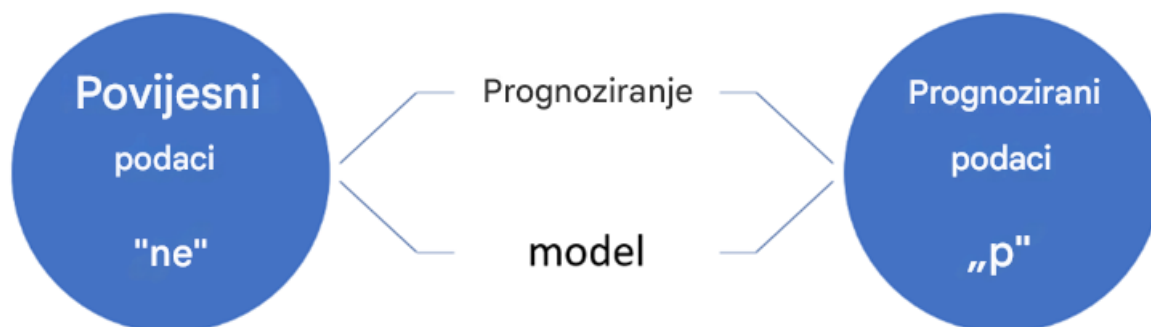
Prognoze se razvijaju (izrađuju) na temelju premisa vrlo različite prirode. Međutim, s obzirom na njihovu znanstvenu prirodu, konstruirani su prvenstveno na temelju statističkih i ekonometrijskih modela te uporabom operativnih istraživanja. Prognoze se pripremaju korištenjem povijesnih podataka – onih koji su se dogodili u prošlosti. A s logističkog gledišta oni se odnose na podatke iz nedavne prošlosti. Posebno u industrijama složenih proizvoda (npr. automobilske industriji), ali ne samo, predviđanja potražnje su presudna za prodajno područje i također za učinkovitost proizvodnog sustava.

Prognoza se uvijek odnosi na određeni horizont predviđanja. Horizont predviđanja je interval $(T, T_i]$, gdje je: T – trenutni trenutak, T_i – konačni trenutak.

Ovisno o vremenskom horizontu, problem predviđanja općenito se dijeli na tri područja: kratkoročno, srednjoročno i dugoročno predviđanje. Kao što je ranije spomenuto, sa stajališta logističkog menadžera, **kratkoročno predviđanje** je ključno. Pokriva horizonte predviđanja od jednog sata do tjedan dana. Sa stajališta rada menadžera logistike zanimljivo je i srednjoročno predviđanje, koje se odnosi na predviđanja od jednog mjeseca do najviše godine. Na kraju, možemo razlikovati dugoročne prognoze, koje karakterizira horizont predviđanja duži od jedne godine. Oni su manje važni za operativne aktivnosti vezane uz logistiku. Teorija kaosa je uvelike pokazala da je dugoročno predviđanje uzaludan trud. Stoga se može pretpostaviti da za široko shvaćene logističke aktivnosti, što je dulji horizont prognoze, to je manja vjerojatnost izrade prognoze. Njezina pouzdanost opada. Također, prognoziranje proizvoda na rok duži od životnog ciklusa proizvoda nema smisla.

Vrijednost (važnost) modela predviđanja temelji se na njihovoj sposobnosti da proizvedu točne prognoze. Stoga su prognoze dobre onoliko koliko su dobre pretpostavke korištenog modela. Važno je biti svjestan i znati koje su te pretpostavke. Ako se bilo koja od ovih pretpostavki pokaže netočnom, prognoze se mogu ponovno procijeniti, modificirati i poboljšati. Glavni problem točnosti prognoza je nepredvidivost gospodarskih kretanja te vanjskih događaja i kriza. Stoga treba jasno navesti da su određene prognozirane vrijednosti

podložne **greškama** i **nesigurnostima**. Dakle, budućnost je određena na temelju znanja koje imamo o prošlosti (slika 8.1).



Slika 8. 1. Generalizirani model predviđanja

Izvor: (Dittmann, 2003)

Ne treba zaboraviti na potrebu razmjene informacija u upravljanju opskrbnim lancem, što je ključno za uspjeh predviđanja potražnje (Altendorfer i Felberbauer, 2023). Što su točniji podaci o potražnji, točnija će biti i prognoza. Također je ključno stalno ažuriranje informacija o potražnji (podrazumijeva promjenu prethodnih informacija, npr. o veličini narudžbe), zahvaljujući čemu se potražnja ažurira u vremenskom horizontu i eliminira informacijska asimetrija. Ali i dr. ističu da je dijeljenje potpune prognoze potražnje, a ne konačne količine narudžbe, korisno za izvedbu opskrbnog lanca (Ali i dr., 2012).

Izazovi uspješnog predviđanja više su od tehničkih poteškoća u razvoju točnog modela predviđanja. Modeli predviđanja moraju se razviti s jasnim razumijevanjem prirode situacije za koju je potrebna prognoza i raspoloživih resursa za izradu prognoze. Važno je osigurati da se odabrana varijabla izravno odnosi na potrebne podatke prognoze (Sheldon, 1993). To ne znači da su prognoze beskorisne, već da oni koji ih koriste trebaju stalno pratiti svoje operativno okruženje kako bi otkrili sve čimbenike koji ukazuju na nedosljedne ili nepravilne obrasce.

Iako je prognoza podložna netočnostima, ona predstavlja važnu smjernicu za buduće operativne aktivnosti tvrtke. Opravdanje za izradu prognoza u poduzeću je i cikličnost koja se javlja u poslovanju poduzeća. Predviđamo da ako se događaj dogodio u prošlosti, može se



dogoditi i u budućnosti. Međutim, ako se događaj dogodio u prošlosti s određenom učestalošću, povećava se vjerojatnost da će se ponoviti. Unatoč brojnim neizvjesnostima, prognoza konstruirana znanstvenim metodama preduvjet je za donošenje racionalne odluke o poslovanju tvrtke.

Gospodarska praksa također pokazuje da **jednostavna metoda predviđanja ne znači automatski i lošiju metodu** (Kucharski, 2013). Kako ističe Kucharski, naivne metode mogu prognozirati iste podatke sa sličnom točnošću. Puno ih je lakše koristiti. Kao rezultat aktivnosti vezanih uz predviđanje potražnje, moguće je za organizaciju ostvariti mnoge koristi (tablica 8.1).

Tablica 8. 1. Prednosti predviđanja potražnje

Identificiran predviđanje koristi	Opravdanje
Bolja proizvodna organizacija	poznavajući predviđeni obujam prodaje gotovih proizvoda, organizacija može unaprijed planirati odgovarajući obujam proizvodnje i odgovarajuću potražnju za sirovinama i ambalažom, čime se eliminiraju nedostaci na proizvodnoj liniji
Veća kontrola sigurnosnih zaliha	znajući prognozirani obujam prodaje gotovih proizvoda, možete planirati sigurnosnu zalihu koja će jamčiti pokrivanje tržišne potražnje
Učinkovitije smanjenje zastarjelog asortimana	znajući predviđeni obujam prodaje gotovih proizvoda, možete se usredotočiti na servisiranje samo asortimana potrebnog za pokrivanje potražnje; zastarjeli proizvodi mogu se eliminirati i, kao rezultat, troškovi zamrznutog kapitala u zalihama i troškovi skladištenja mogu se optimizirati
Veće zadovoljstvo kupaca i poboljšanje imidža organizacije	poznavanje predviđenog obujma prodaje gotovih proizvoda može osigurati održavanje odgovarajuće razine zaliha u skladištu
Učinkovitije korištenje skladišnog prostora	znajući predviđeni obujam prodaje gotovih proizvoda, možete prikupiti samo potrebne zalihe proizvoda; također možete značajno smanjiti iskorišteni prostor za pohranu
Učinkovitija kontrola i smanjenje troškova	znajući predviđeni obujam prodaje gotovih proizvoda, možete točnije planirati proračun organizacije i poduzeti korake za točniju kontrolu troškova

Izvor: (Wojciechowski i Wojciechowska, 2015; Wolny i Kmiecik, 2020)

Treba navesti nekoliko svojstava prognoza. Ovo su:



1. Prognoze su formulirane korištenjem dostignuća znanosti (razvijeni i verificirani matematički modeli).
2. Prognoze se odnose na određenu budućnost.
3. Prognoze se provjeravaju empirijski (nakon određenog vremenskog razdoblja).
4. Prognoze su prihvatljive osobi koja priprema prognozu.

Prognoze podupiru proces donošenja odluka u poduzeću i istovremeno ispunjavaju različite funkcije. (Gajda, 2001):

- pripremna – prognoza je poticaj za poduzimanje određene radnje, ali nema utjecaja na prognoziranu pojavu. Samo se na temelju njih donose ekonomske odluke,
- aktivirajuće – prognoza je poticaj za poduzimanje određene radnje i ujedno utječe na prognoziranu pojavu. Stoga se poduzimaju radnje koje su usmjerene na to da prognoza bude realna (samoispunjavajuće ili povoljne prognoze, koje pokreću radnje koje pogoduju ostvarenju prognoza) ili poništavaju prognoze (prognoze upozorenja, koje pokreću akcije koje se suprotstavljaju njihovom ostvarenju).

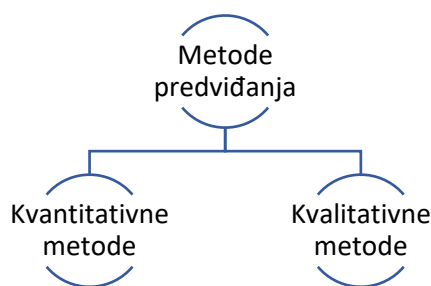
Međutim, važno je upamtiti da se izgrađene prognoze mogu lako pokvariti zbog slučajnih varijabli koje se ne mogu uključiti u model ili jednostavno mogu biti pogrešne od samog početka. Iz tog razloga predviđanje može biti opasno za organizacije. Postoje tri problema vezana uz predviđanje:

- podaci na temelju kojih se rade prognoze uvijek će biti stari, odnositi se na povijesna razdoblja. Dakle, nikad nema jamstva da će prošli uvjeti trajati i u budućnosti,
- ne mogu se uzeti u obzir iznimni ili neočekivani događaji ili vanjski učinci (primjer pandemije COVID-19; utjecaj rata i oružanih sukoba; utjecaj nepredviđenih gospodarskih kriza),
- prognoze ne mogu uzeti u obzir vlastiti utjecaj.

Ispravno provedeno predviđanje omogućuje poduzetnicima i menadžerima da unaprijed planiraju svoje aktivnosti, čime se povećavaju šanse da ostanu konkurentni na tržištima.

8.2. Klasifikacija metoda predviđanja

Dvije su osnovne skupine metoda predviđanja: kvantitativne i kvalitativne (slika 8.2). Prognoza klasificirana kao kvantitativna metoda predviđanja ima oblik određenog broja (točkasta prognoza) ili, alternativno, numerički raspon (intervalna prognoza).



Slika 8. 2. Metode predviđanja – vrste

Izvor: (Dittmann, 2000)

Kvalitativne prognoze poprimaju nenumerički oblik. Odnose se na analizirani fenomen u budućnosti i procjenu njegovog rasta, opadanja ili nepromjene. Kvalitativne prognoze mogu se smatrati temeljenim na mišljenjima tržišnih stručnjaka.

Sa stajališta logističara, međutim, ključne prognoze su one koje se mogu definirati brojkama, tj. **kvantitativne prognoze**. Kvantitativno predviđanje zaobilazi faktor stručnjaka i pokušava ukloniti ljudski element iz analize. Ovi pristupi fokusiraju se isključivo na podatke.



Kvantitativne prognoze	Modeli vremenskih serija
	Ekonometrijski modeli
	Analogni modeli
	Modeli vodećih varijabli
	Modeli kohortne analize
	Tržišni testovi

Slika 8. 3. Metode kvantitativne prognoze

Izvor: (Dittmann, 2000).

Kvantitativne prognoze mogu se klasificirati prema korištenim modelima (Sl. 8.3). Za potrebe ove knjige fokus je na **modelima vremenskih serija**.

8.3. Predviđanje vremenskih serija

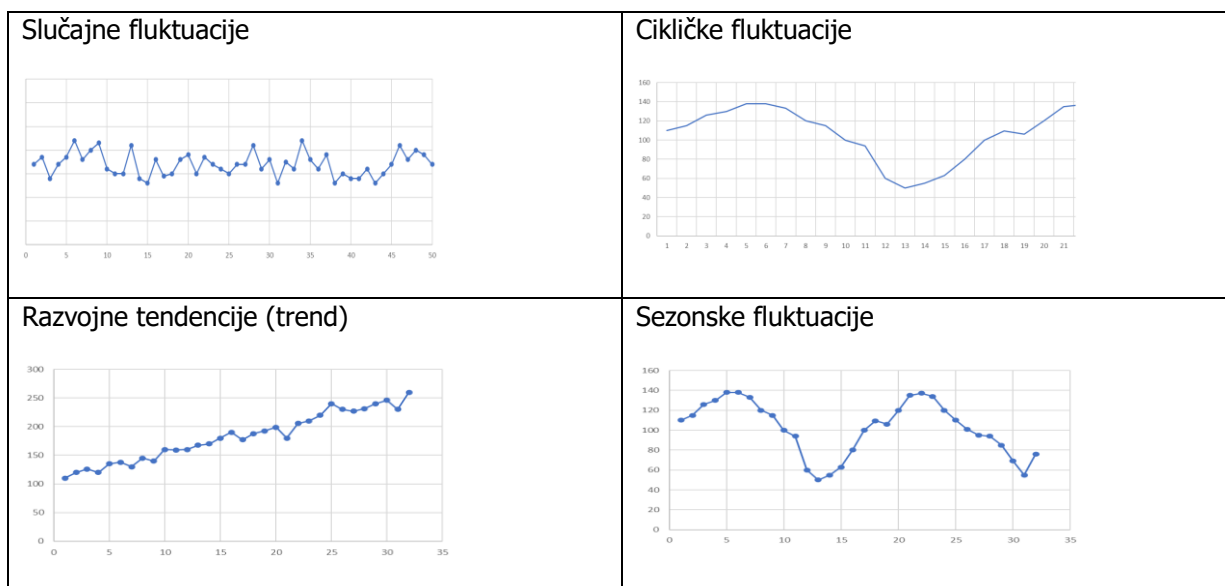
Jedna od najčešće korištenih prognostičkih metoda za predviđanje potražnje su metode temeljene na modelima vremenskih serija. Vremenske serije su metodologija za istraživanje složenih i sekvencijalnih vrsta podataka. U modelima vremenskih serija, sekvencijalni podaci, koji se sastoje od nizova numeričkih podataka, bilježe se u pravilnim intervalima (npr. po minuti, po satu ili po danu). Popularnost ovih metoda proizlazi iz mogućnosti dobivanja podataka o budućem tijeku promatrane pojave putem predviđanja. Stoga nema potrebe prikupljati i analizirati daljnje podatke iz drugih izvora. Često se koristi i predviđanje pomoću vremenskih serija zbog velike vjerojatnosti njegove pojave. Gospodarska praksa također pokazuje da prognoze pripremljene pomoću modela vremenskih serija nisu ništa lošije od prognoza dobivenih na temelju kompliciranijih modela. Iskustvo također pokazuje da **modeli vremenskih serija imaju razvojni potencijal**. Svaka sljedeća izmjena metode ili sljedeća metoda predviđanja vremenskih nizova trebala bi po definiciji poboljšati kvalitetu svojih rezultata.

8.4. Dekompozicija vremenskih serija

Prognoze se izrađuju pomoću podataka vremenskih serija. To se događa bez obzira na usvojenu metodu predviđanja. Podaci vremenskih serija (varijable) poredani su kronološki, od najstarijih prema najnovijim podacima. Treba naglasiti da posljednji podatak ne odgovara trenutku izrade prognoze. U znanstvenim publikacijama i studijama pretpostavlja se da y_t uvijek određuje određenu vrijednost niza y u razdoblju (trenutku) t .

Komponente vremenske serije su slučajne fluktuacije, tendencija razvoja (trend), cikličke fluktuacije i sezonske fluktuacije (tablica 8.2).

Tablica 8. 2. Vizualizacija vremenskih serija



Izvor: vlastita studija

O svakom od njih može se reći nekoliko riječi (Cieslak, 1997):



- slučajne fluktuacije – to su nasumične i slučajne nepredvidive promjene niza varijabli različite jakosti, koje se promatraju tijekom vremena i ne pokazuju jasnu tendenciju. Povezani su s pogreškama statističke ili prognostičke prirode,
- razvojne tendencije (trend) – to su dugoročne tendencije serija podataka prema jednosmjernim (monotonim) promjenama prognozne varijable. One imaju rastući ili msnjujući smjer. Najčešće se tiču trajnog fenomena koji utječe na analizirane podatke. Podaci vremenskih serija mogu sadržavati i razvojne trendove i slučajne fluktuacije. Kako bi se izolirali razvojni trendovi, obično je potrebno više povijesnih podataka. Stoga se pridržavamo općeg pravila: što je dulje razdoblje promatranja povijesnih podataka, veća je mogućnost preciznog određivanja vrste trenda. Trend se prikazuje pomoću linearne ili nelinearne matematičke funkcije;
- cikličke fluktuacije – to su dugoročne, ritmične fluktuacije vrijednosti varijable oko trenda ili konstantne razine, koje traju dugo (dulje od godinu dana). Oni su rezultat poslovnih ciklusa. Mogu se promatrati različite duljine ciklusa i njihova dinamika. Cikličke fluktuacije su stoga povezane s promjenama u gospodarskoj aktivnosti poduzeća, krizama ili gospodarskim oporavkom ili bogatstvom društva. Za analizu cikličkih fluktuacija i izradu prognoze buduće potražnje potrebni su mjesečni, tromjesečni ili godišnji povijesni podaci iz posljednjih nekoliko godina;
- sezonske fluktuacije – to su fluktuacije u vrijednosti varijable vremenske serije oko trenda ili konstantne razine, koje se ponavljaju u redovitim (sezonskim) intervalima, ne duljim od godinu dana. U takvom slučaju, točnost izgrađenih prognoza ovisit će o vrsti i opsegu sezonskih fluktuacija, broju i vrsti praznina u dostupnim podacima i horizontu prognoze.

Identifikacija i analiza naznačenih komponenti vremenske serije naziva se **dekompozicija vremenske serije**.

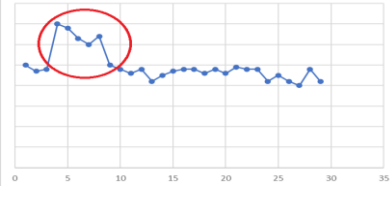
8.5. Priprema vremenskih serija podataka

Prije poduzimanja koraka za izradu predviđanja, vrijedi izvršiti preliminarnu obradu podataka, također poznatu kao **čišćenje podataka**. Potrebno ih je provjeriti kako bi se uklonile pogreške ili odstupanja. Preskakanje ovog koraka može dovesti do iskrivljenja rezultata predviđanja i, kao rezultat toga, pogrešaka u zaključcima. Treba imati na umu da su podaci koji se odnose na neuobičajene slučajeve (outliers ili rijetki slučajevi) istinite informacije u koje prognostičar ne sumnja. Provjereni su i pouzdani.

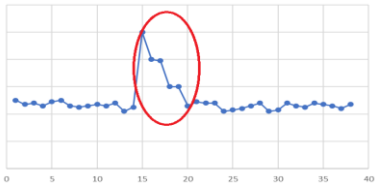
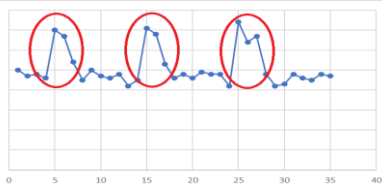
Postoje različite strategije za rješavanje ekstremnih podataka. Neke od njih su:

- nema akcije – uključuje ignoriranje atipičnih podataka, jer su neke metode predviđanja otporne na pojavu atipičnih podataka,
- filtriranje slučajeva s izvanrednim podacima – to uključuje uklanjanje tih podataka; međutim, to nije najbolja strategija,
- zamjena neobičnih podataka – ovo je popularna strategija u kojoj se outliers zamjenjuju: (1) vrijednošću 0, (2) prosječnom vrijednošću; (3) najveću/minimalnu vrijednost filtra ili (4) drugu vrijednost utvrđenu na temelju materijalnog kriterija.

Tablica 8. 3. Odabrane vrste outliera

Additivni outlier Čini se kao iznenađujuće velika ili iznenađujuće mala vrijednost za jedno opažanje. To nema utjecaja na naknadna promatranja – vrijednost niza više ne odstupa.	
Inovativni outlier Javlja se kao odstupanje s daljnjim učincima na opažanja. Može se uočiti početni (prvi) učinak s učinkom odgode i produženja na kasnija opažanja (smanjenje ili povećanje). Taj se utjecaj s vremenom može smanjiti ili povećati.	
Odstupanje od prolazne promjene To se događa kada utjecaj eksponencijalno opada s naknadnim opažanjima. Na kraju se serija vraća na normalnu razinu.	



	
Sezonski aditivni outlier Čini se kao iznenađujuće velika ili iznenađujuće mala vrijednost koja se javlja periodički (u pravilnim intervalima).	

Izvor: vlastita studija

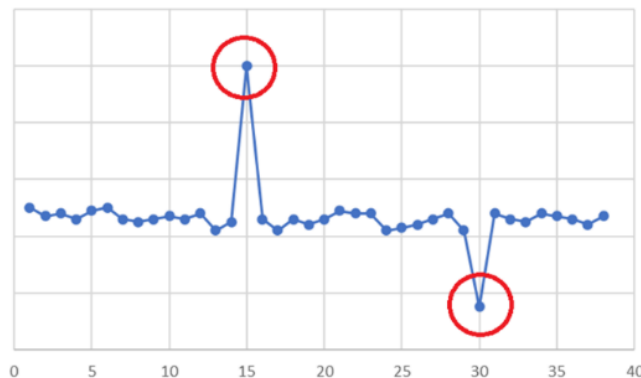
Ostavljanje atipičnih podataka u vremenskoj seriji iskrivljuje rezultat njihove analize i otežava formuliranje zaključaka, jer su atipični podaci izrazito male ili izrazito velike vrijednosti. Zbog nedosljednosti, te se vrijednosti nazivaju **izvanrednim vrijednostima**. Kao rezultat toga, povećavaju raspon u vremenskoj seriji (minimalni-maksimalni raspon). Stoga netipični podaci imaju velik učinak iskrivljavanja prognozirane vrijednosti (tablica 8.3).

Odluka o promjeni veličine neobičnog predmeta ili njegovom uklanjanju uvijek je vrlo subjektivna za prognostičara, pa zahtijeva oprez. Smanjenje subjektivnosti prognostičara pri uklanjanju atipičnih slučajeva moguće je kvantitativnim podacima. Na primjer, možete primijeniti **standardno pravilo odstupanja**. To znači da ako su povijesni podaci neuobičajeni (npr. izvan raspona srednje vrijednosti grupe ($\bar{x}$) plus ili minus 2 ili 3 standardne devijacije), mijenjaju se ili uklanjaju.

Vrijedno je svaku seriju podataka podvrgnuti postupku dekompozicije. Može se odrediti nekoliko koraka:

1. Identificiranje funkcionalnog oblika serije, što znači određivanje vrste trenda.
2. Traženje izvanrednih opažanja i zamijena prosječnim vrijednostima ili takozvanim gornjim i/ili donjim filtrima.
3. Provjera ponaša li se zadnji promatrani podatak u nizu tipično; ako ne i čišćenje.
4. Identifikacija koeficijenta nagiba trenda, kako bi se odredila stabilnost glavnog trenda promatranog u seriji.
5. Ispitivanje stabilnosti trenutnog kratkoročnog trenda.

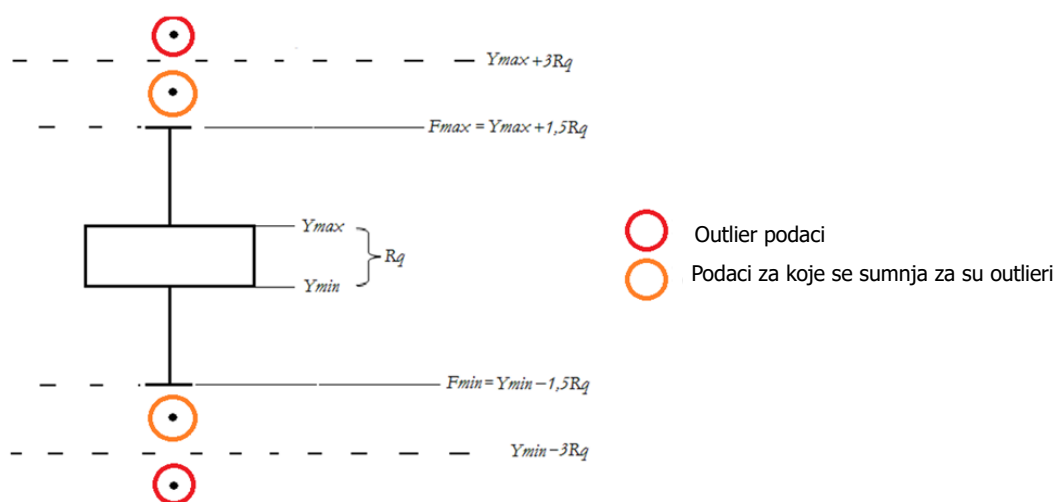
Filtri (minimalni ili maksimalni) su dobro rješenje kada se pojave odstupanja (Sl. 8.4).



Slika 8. 4. Jasno nedosljedne vrijednosti s općom pravilnošću vremenske serije

Izvor: vlastita studija

Filter se koristi za ispravljanje podataka prije izrade sljedeće prognoze. Vrijednost koja odstupa od ispravne serije zamjenjuje se minimalnim ili maksimalnim filtrom (Sl. 8.5). Ekstremni odstupci nalaze se iznad $y_{max} + 3R_q$ ili ispod $y_{min} - 3R_q$. Vrijednosti za koje se sumnja da su vanjske vrijednosti uključene su u raspone $(y_{min} - 1,5R_q; y_{min} - 3R_q)$ i $(y_{max} + 1,5R_q; y_{max} + 3R_q)$.



Slika 8. 5. Filtriranje vrijednosti i outliera

Izvor: (Grzybowska, 2009)



Ovo je predstavljeno modelom:

$$F_{min} = y_{min} - 1,5R_q$$

$$F_{max} = y_{max} + 1,5R_q$$

$$R_q = y_{max} - y_{min}$$

gdje:

F_{min} – minimalna vrijednost filtera

F_{max} – maksimalna vrijednost filtera

y_{min} – minimalna vrijednost određena iz vremenske serije

y_{max} – maksimalna vrijednost određena iz vremenske serije

R_q – interkvartil domet.

8.6. Metode predviđanja vremenskih serija

Metode predviđanja vremenskih serija podijeljene su prema trendu podataka. Prognoze se mogu specificirati za stalnu potražnju, potražnju nalik trendu (rastuću ili opadajuću) i sezonsku potražnju (slika 8.6).

Konstantna potražnja	Naivne metode
	Prosječne metode
	Metoda eksponencijalnog izgladivanja (Brownov model)
	Model ARMA
Potražnja poput trenda	Linearno eksponencijalno izgladivanje, LES (Holtov model)
	Metoda jednostavne linearne regresije
	Model ARIMA
	Model RW
Sezonska potražnja	Holt-Wintersova sezonska metoda (Holt- Wintersov model)

Slika 8. 6. Kvantitativne metode za predviđanje vremenskih serija

Izvor: vlastita studija

U prikazanim modelima parametar y uvijek se odnosi na stvarne vrijednosti potražnje, a $\hat{y}_t$ parametar uvijek na konstruiranu prognozu.



Naivne metode

Naivne metode predviđanja karakteriziraju se kao jednostavne, brze i jeftine. Omogućuju razvoj predviđanja iz male količine povijesnih podataka. Naivne metode također služe kao referentna točka za druge metode predviđanja (Kucharski, 2013).

Naivne metode su najjednostavnije mehaničke metode. Razvijene su pod pretpostavkom da u budućnosti neće biti značajnih promjena u potražnji. Vrlo su pogodni svugdje gdje nema velikih fluktuacija u prognoznj varijabli. Temelje se isključivo na povijesnim opažanjima. Naivni modeli imaju samo memoriju za jedno (zadnje) opažanje, tako da neće filtrirati šum u podacima, već ga kopirati u budućnost.

Naivni modeli sastoje se od jednostavnih projekivnih modela. To znači da su im potrebni podaci iz nedavnih opažanja i da se ne provodi nikakva statistička analiza. Iznimno su jednostavni, a istovremeno iznenađujuće učinkoviti. Prednost ovih metoda je brza odluka o predviđenoj vrijednosti. Međutim, nedostatak je nemogućnost analize uzročno-posljedičnih odnosa koji su u osnovi varijable prognoze.

Za potrebe ove studije bit će predstavljene 3 naivne metode: (1) Naivna prognoza; (2) Sezonska naivna metoda; (3) Metoda drifta.

Naivna prognoza

Naivna prognoza je ona u kojoj je vrijednost prognoze za određeno razdoblje jednostavno jednaka vrijednosti promatranoj u prethodnom razdoblju. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = y_{t-1}$$

gdje:

$\hat{y}_t$ – prognoza za buduće razdoblje

y_{t-1} – stvarna vrijednost potražnje iz prethodnog razdoblja.



Formula koja se koristi u Excelu:

prognoza (t) = **potražnja** (t-1)

Sezonska naivna metoda

Također, naivna metoda korisna je za podatke s malim sezonskim fluktuacijama. U ovoj situaciji svaka prognoza je jednaka zadnjoj promatranoj vrijednosti iz iste sezone (npr. iz istog mjeseca prethodne godine). Prognoze pretpostavljaju vrijednost zabilježenu u prethodnoj sezoni. Model je koristan kada postoje male slučajne fluktuacije i dodatna sezonalnost. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\check{y}_{t+h|T} = y_{t+h-m(k+1)}$$

gdje:

$\check{y}_{t+h|T}$ – prognoza za buduće razdoblje

m – sezonsko razdoblje

k – ukupni udio $(h-1)/m$ (tj. broj punih godina u razdoblju prognoze koje prethodi $T+h$).

Model izgleda kompliciranije nego što zapravo jest. Na primjer, ako je prognoza izgrađena na temelju mjesečnih podataka, ona se odnosi na sve buduće mjesečne vrijednosti i jednaka je zadnjoj promatranoj vrijednosti za taj mjesec prethodne godine. Za tromjesečne podatke, prognoza svih budućih $Q2$ vrijednosti jednaka je zadnjoj promatranoj $Q2$ vrijednosti (gdje $Q2$ predstavlja drugo tromjesečje). Slična pravila vrijede iu drugim mjesecima i tromjesečjima te u ostalim sezonskim razdobljima.



To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:

prognoza (t) = **potražnja** (t, prethodna godina)



Prognoza za razdoblje t jednaka je potražnji iz odgovarajućeg razdoblja prethodne godine. Sezonska naivna metoda će zahtijevati jednogodišnji odmak.

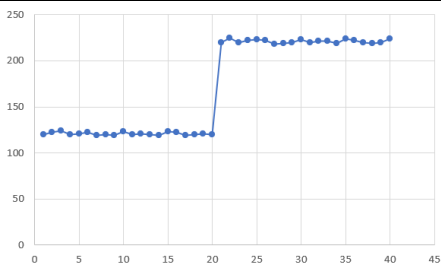
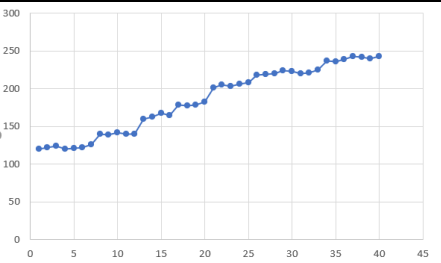
Metoda drifta

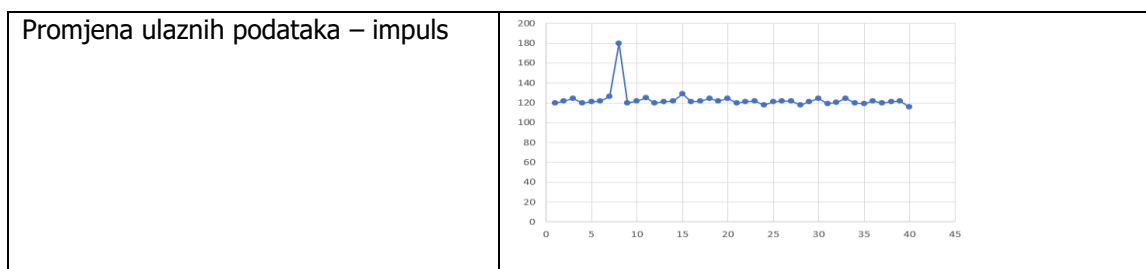
Varijacija sezonske naivne metode, metoda drifta uključuje dopuštanje prognozama da se povećavaju ili smanjuju tijekom vremena, gdje je količina promjene tijekom vremena (zvana drift) postavljena na prosječnu promjenu vidljivu u povijesnim podacima. Metoda koristi dodatnu komponentu koja se naziva drift.

Drift se odnosi na pad izvedbe modela zbog promjena podataka i odnosa između ulaznih i izlaznih varijabli. To, međutim, može rezultirati pogoršanjem kvalitete modela predviđanja, što će rezultirati netočnim predviđanjima. Varijabilni pomak odnosi se na promjene u ulaznim vrijednostima, npr. kao rezultat naglih promjena u trendovima prodaje. Promjena ulaznih podataka može biti:

- nasilno (iznenadno), npr. zbog zatvaranja tijekom pandemije COVID-19,
- povećanje (polagana promjena),
- impuls (jednokratno), npr. u slučaju neispravnih podataka.

Tablica 8. 4. Vrste zanošenja

Promjena ulaznih podataka – brza (iznenadna)	
Promjena ulaznih podataka – inkrementalna	



Izvor: vlastita studija

Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_{t+h|T} = y_t + h \left(\frac{y_t - y_1}{t-1} \right)$$

gdje:

$\hat{y}_{t+h|T}$ – prognoza za buduće razdoblje

$h \left(\frac{y_t - y_1}{t-1} \right)$ – komponenta zanošenja.

To je jednako povlačenju crte između prvog i posljednjeg opažanja i njegovom ekstrapoliranju u budućnost.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:

prognoza (t) = potražnja (iz zadnjeg razdoblja prethodne godine) + [h * (potražnja (iz zadnjeg razdoblja prethodne godine) – potražnja (iz prvog razdoblja prethodne godine)) / n-1]



Prognoza za razdoblje t jednaka je potražnji iz zadnjeg razdoblja prethodne godine + komponenta pomaka. Komponenta pomaka sadrži broj h koji se odnosi na sljedeći broj izgrađenih prognoza, a t određuje broj ispitivanih razdoblja u godini.

Prosječne metode

Metode pomičnog prosjeka djeluju kao filter jer eliminiraju kratkoročne fluktuacije iz serije podataka. Za izradu prognoze, metode pomičnog prosjeka koriste određeni broj susjednih podataka o potražnji.



Kako se broj povijesnih podataka na temelju kojih se gradi prognoza povećava, učinak izgladivanja se povećava. To znači da korištenje više podataka u modelu jače izgladuje niz. Također uzrokuje sporiju reakciju na promjene u razini prognozne varijable. I obrnuto. Korištenje manje povijesnih podataka pomaže bržem odražavanju promjena u potražnji iz nedavnih razdoblja. Prognoza tada postaje osjetljivija na nasumične fluktuacije. Za potrebe ove studije bit će predstavljene četiri prosječne metode: (1) Globalni prosjek; (2) Jednostavni pomični prosjek, SMA; (3) Eksponencijalni pokretni prosjek, EMA; (4) Ponderirani pomični prosjek, WMA.

Globalni prosjek ili globalni prosjek

Prognoza, koristeći metodu globalnog prosjeka, izgrađena je na svim dostupnim povijesnim opažanjima uključenim u niz. Ova metoda određuje središnju tendenciju, a to je mjesto središta niza podataka u statističkoj distribuciji.

Vrijednost prognoze metodom globalnog prosjeka treba izračunati zbrajanjem vrijednosti svih povijesnih podataka i dijeljenjem izračunate vrijednosti s brojem analiziranih razdoblja.

Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\check{y}_t = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n}$$

gdje:

n – broj analiziranih razdoblja.



To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \Sigma d \text{ potražnja} / n$$

Korištenje aritmetičke sredine cijelog niza podataka iskrivljuje rezultat prognoze koja se gradi. Podaci korišteni u metodi su previše zastarjeli, što iskrivljuje ispravnu sliku buduće potražnje.



Jednostavni pomični prosjek, SMA

Metoda jednostavnog pomičnog prosjeka koristi tipični aritmetički prosjek, ali samo određene količine povijesnih podataka. Odabrani podaci pomažu izglatiti podatke o potražnji, smanjujući utjecaj nasumičnih fluktuacija i zastarjelih podataka. Naziv pomični prosjek znači da se svaka prognoza izračunava na temelju podataka iz prethodnih x razdoblja. Jednostavan pomični prosjek ne razlikuje povijesne podatke i ne teži tim podacima.

Jednostavan pomični prosjek je aritmetički pomični prosjek izračunat dodavanjem najnovijih podataka o potražnji, a zatim dijeljenjem dobivene vrijednosti s brojem razdoblja u izračunatom prosjeku. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\check{y}_t = \frac{\sum_{t+1-m}^t y}{m}$$

gdje:

m – broj analiziranih razdoblja.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:

za prosjek od 3 elementa:



prognoza (t) = **AVERAGE**(**potražnja** (t-1) ; **potražnja** (t-2) ; **potražnja** (t-3) ;)

Za izračun pomičnog prosjeka možete koristiti jednostavnu formulu temeljenu na funkciji *AVERAGE* s relativnim referencama.

Kako se formule kopiraju niz stupac, raspon se mijenja u svakom retku kako bi se uzele u obzir vrijednosti potrebne za svaki prosjek.

Što je pomični prosjek duži, to je **kašnjenje veće**. To se može objasniti na sljedeći način:

- Prognoza temeljena na 3 povijesna podatka je kratkoročni pomični prosjek; on je poput motornog čamca – okretan i brzo se mijenja.



- Prognoza temeljena na 50 povijesnih podataka je dugoročni pomični prosjek; to je poput oceanskog tankera – tromo i sporo se mijenja.

Stoga pri odabiru odgovarajućeg broja povijesnih razdoblja treba imati na umu faktor kašnjenja (nemojte koristiti previše podataka).

Eksponecijalni pomični prosjek, EMA

Metoda eksponecijalnog pomičnog prosjeka omogućuje smanjenje kašnjenja obraćanjem više pozornosti na nedavne povijesne vrijednosti podataka. To čini metodu osjetljivijom na nedavne vrijednosti podataka. Eksponecijalni pomični prosjek obično je osjetljiviji na nedavne promjene potražnje u usporedbi s jednostavnim pomičnim prosjekom. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = p_{t-1} + \alpha(y_{t-1} - p_{t-1})$$

$$\alpha = \frac{2}{n+1}$$

gdje:

α – množitelj

n – odabrano vremensko razdoblje.

Izračun eksponecijalnog pomičnog prosjeka uključuje tri koraka:

1. Izračun jednostavnog pomičnog prosjeka za razdoblje (preliminarna prognoza). SMA je potreban samo za pružanje početne vrijednosti za daljnje izračune.
2. Izračunavanje množitelja za ponderiranje eksponecijalnog pomičnog prosjeka.

Primjer: ako je prognoza sastavljena od 3 razdoblja, množitelj će se izračunati na sljedeći način: $\text{množitelj} = \alpha = \frac{2}{n+1} = \frac{2}{3+1} = 0,5$

3. Izračun trenutne prognoze prema eksponecijalnom pokretnom prosjeku

Podsjetnik: prva izračunata prognoza naziva se preliminarna prognoza.



To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \text{prognoza}_{(t-1)} + \text{multiplikator} * (\text{potražnja}_{(t-1)} - \text{prognoza}_{(t-1)})$$

EMA metoda koristi se za hvatanje kraćih kretanja trenda zbog fokusa na najnovije podatke i nedavne prognoze.

Ponderirani pomični prosjek, WMA

Ovo je varijanta jednostavnog pomičnog prosjeka (SMA). Metoda ponderiranog pomičnog prosjeka (WMA) je pomični prosjek koji daje težinu najnovijim vrijednostima potražnje. To znači da najnoviji podaci imaju jači utjecaj na prognoziranu vrijednost od starijih podataka. To je moguće korištenjem ponderiranog faktora. Korištenje ponderiranih koeficijenata omogućuje točnije prognoze. Metoda se smatra osjetljivijom na promjene potražnje.

Prognoze ponderiranog pomičnog prosjeka dobivaju se množenjem svake vrijednosti potražnje s unaprijed određenim ponderiranim faktorom i zbrajanjem dobivenih vrijednosti. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = \sum_{i=t-m+1}^t (y_i \cdot \omega_i)$$

gdje:

ω – težinski koeficijent.

Da biste odredili njihovu vrijednost, zapamtite nekoliko pravila:

- Vrijednosti ponderiranih koeficijenata su u rasponu $< 0,1 >$,
- Svaki sljedeći korišteni ponderirani koeficijent veći je od svog prethodnika $\omega_i < \omega_{i+1} < \omega_{i+2}$. Ovo je vrlo važno načelo jer razlikuje važnost korištenih povijesnih podataka. Stariji imaju manji ponderirani faktor, noviji podaci su važniji i imaju veći ponderirani faktor,



- Zbroj svih težinskih koeficijenata mora biti jednak 1: $\sum_1^n \omega_i = 1$,
- Broj ponderiranih koeficijenata ovisi o broju analiziranih povijesnih razdoblja iz vremenske serije.

To je objašnjeno formulom koja se koristi u Excelu

za ponderirani prosjek od 3 elementa:



$$\text{prognoza}_{(t)} = (\text{potražnja}_{(t-3)} * \omega_{(1)}) + (\text{potražnja}_{(t-2)} * \omega_{(2)}) + (\text{potražnja}_{(t-1)} * \omega_{(3)})$$

za ponderirani prosjek od 5 elemenata:

$$\text{prognoza}_{(t)} = (\text{potražnja}_{(t-5)} * \omega_{(1)}) + (\text{potražnja}_{(t-4)} * \omega_{(2)}) + (\text{potražnja}_{(t-3)} * \omega_{(3)}) + (\text{potražnja}_{(t-2)} * \omega_{(4)}) + (\text{potražnja}_{(t-1)} * \omega_{(5)})$$

U metodi ponderiranog pomičnog prosjeka treba odrediti vrijednost konstante izgladivanja (koliko povijesnih razdoblja treba koristiti) i odrediti razine pojedinačnih pondera ponderiranih koeficijenata.

Metode eksponencijalnog izgladivanja

Metode eksponencijalnog izgladivanja naširoko se koriste (Chatfield i dr., 2001). Postoji 15 različitih metoda. Svaka varijanta navedena je za različiti scenarij predviđanja. Najpoznatije varijante metode eksponencijalnog izgladivanja su Jednostavno eksponencijalno izgladivanje (SES) (bez trenda, bez sezonalnosti), Holtova linearna metoda (aditivni trend, bez sezonalnosti), Holt-Wintersova aditivna metoda (aditivni trend, aditivna sezonalnost) i Holt-Wintersova multiplikativna metoda (aditivni trend, multiplikativna sezonalnost) (De Gooijer i Hyndman, 2006). Istraživači su predložili brojne varijante izvornih metoda eksponencijalnog izgladivanja, npr. Carreno i Madinaveitia (1990) predložili su modifikacije za rješavanje diskontinuiteta, a Rosas i Guerrero (1994) promatrali su predviđanja eksponencijalnog izgladivanja podložna jednom ili više ograničenja. Za potrebe ovog istraživanja bit će predstavljene tri metode eksponencijalnog izgladivanja: (1) Jednostavno eksponencijalno



izglađivanje, SES (model Browna); (2) Linear Exponential Smoothing, LES (model Holta); (3) Holt-Wintersova sezonska metoda (Model Holt-Winters).

Jednostavno eksponencijalno izglađivanje, SES (Brownov model)

Jednostavno eksponencijalno izglađivanje je osnovni oblik eksponencijalnog izglađivanja. Metoda eksponencijalnog izglađivanja (Brownov model) je relativno točna metoda predviđanja potražnje. Uzima u obzir eksponencijalni faktor izglađivanja (α). Ovaj koeficijent kontrolira brzinu kojom podaci utječu na predviđanja koja se izrađuju. U isto vrijeme, metoda daje veću težinu novijim podacima. Dodjeljuje eksponencijalno opadajuće težine kako podaci postaju udaljeniji.

Da biste odredili vrijednost eksponencijalnog faktora izglađivanja, zapamtite sljedeća pravila:

- vrijednost eksponencijalnog koeficijenta izglađivanja je u rasponu od $(0,1)$;
- vrijednost eksponencijalnog koeficijenta izglađivanja odabire se eksperimentalno. Treba koristiti sljedeću pretpostavku: što je koeficijent bliži nuli, to su podaci više izglađeni (prognoza je manje osjetljiva na promjene u potražnji), a prognostičar više vjeruje prognozi napravljenoj u prethodnom razdoblju; pokazatelj bliži 1 znači da je prognoza osjetljivija na promjene u potražnji, a prognostičar se temelji na stvarnom stanju koje se dogodilo u prethodnom razdoblju.

Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = \alpha \cdot y_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot p_{t-1}$$

gdje:

α – eksponencijalni faktor izglađivanja.

Izračun prognoze korištenjem jednostavne metode eksponencijalnog izglađivanja uključuje tri koraka:

1. Izračun naivne prognoze za prvo razdoblje (početna prognoza). Preliminarna prognoza potrebna je samo za pružanje početne vrijednosti za daljnje izračune.



2. Određivanje eksponencijalnog faktora izgladivanja; Eksponencijalni faktor izgladivanja $\alpha = \langle 0,1 \rangle$
3. Izračun prognoze metodom jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \alpha \text{ lfa} * \text{potražnja}_{(t-1)} + [(1 - \alpha \text{ lfa}) * \text{prognoza}_{(t-1)}]$$

Jednostavna metoda eksponencijalnog izgladivanja koristi se za predviđanje na temelju podataka bez ikakvog značajnog trenda ili sezonalnosti.

Linearno eksponencijalno izgladivanje, LES (Holtov model)

Metoda dvostrukog eksponencijalnog izgladivanja (tzv. Holtov model) bilježi linearne trendove u podacima. To je pravi model za potražnju u kojem se može uočiti stalni uzlazni ili silazni trend. Međutim, nema sezonalnosti.

Model dvostrukog eksponencijalnog izgladivanja temelji se na dva faktora izgladivanja. Jedna se odnosi na izgladivanje razine varijable (slučajne fluktuacije), a druga na njezino povećanje (fluktuacije trenda). Oba koeficijenta trebaju biti unutar raspona : $\langle 0,1 \rangle$. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\check{y}_t = L_{t-1} + T_{t-1}$$

$$L_t = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta (L_{t-1} - L_{t-2}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

gdje:

α – faktor izgladivanja promjenjive razine

β – faktor zagladivanja rasta.

Prema modelu, dvije početne vrijednosti L_t i T_t su potrebni:



$L_t = y_{t-1}$ – prema naivnoj metodi

$T_t = y_{t-1} - y_{t-2}$

Formula koja se koristi u Excelu:



prognoza_(t) = [α lfa * potražnja_(t-1) + (1 – α lfa)(slučajna fluktuacija_(t-1) + fluktuacija trenda_(t-1))] + [beta * (slučajna fluktuacija_(t-1) – (slučajna fluktuacija_(t-2)) + (1 – beta) * fluktuacija trenda_(t-1)]

Holt-Wintersova sezonska metoda (Holt-Wintersov model)

Metoda sezonskog eksponencijalnog izgladivanja, koja se naziva i Holt-Wintersov model, vrlo je prikladna za predviđanje potražnje za podacima koje karakteriziraju i trend i sezonalnost (www_8.1). Međutim, potrebno je dobiti duge nizove podataka o potražnji jer je potrebno verificirati ponovljene cikličke fluktuacije (potvrđujući da u nizu postoji sezonska potražnja). Sezonska kolebanja javljaju se u aditivnoj ili multiplikativnoj verziji (Kucharski, 2013).

Do aditivnih fluktuacija dolazi kada se u pojedinim podrazdobljima sezonskog ciklusa mogu uočiti odstupanja razine analizirane pojave od prosječne razine ili trenda, izraženo u apsolutnoj vrijednosti.

Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\check{y}_t = L_{t-1} + T_{t-1} + S_{t-p}$$

$$L_t = \alpha(y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_t = \delta(y_t - L_t) + (1 - \delta)S_{t-p}$$

gdje:

α – faktor izgladivanja promjenjive razine

β – faktor izgladivanja trenda



δ – koeficijent sezonske komponente

L_t – komponenta razine u trenutku t

T_t – komponenta trenda u trenutku t

S_t – sezonska komponenta u trenutku t

p – sezonsko razdoblje.

Formula koja se koristi u Excelu:

prognoza_(t) = komponenta razine_(t-1) + komponenta trenda_(t-1) + komponenta sezonalnosti_(tp)

komponenta razine_(t) = alfa * [potražnja_(t) – komponenta sezonalnosti_(t)] + (1 – alfa) * (komponenta razine_(t-1) + komponenta trenda_(t-1))

komponenta trenda_(t) = beta * (komponenta razine_(t) - komponenta razine_(t-1)) + [(1 – beta) * komponenta trenda_(t-1)]

komponenta sezonskosti_(t) = gama * (potražnja_(t) – komponenta razine_(t)) + (1 – gama) * komponenta sezonskosti_(tp)

komponenta sezonalnosti_(tp) za četiri kvartala

komponenta sezonalnosti₍₁₎ = potražnja₍₁₎ / prosječna potražnja₍₁₋₄₎

komponenta sezonalnosti₍₂₎ = potražnja₍₂₎ / prosječna potražnja₍₁₋₄₎

komponenta sezonalnosti₍₃₎ = potražnja₍₃₎ / prosječna potražnja₍₁₋₄₎

komponenta sezonalnosti₍₄₎ = potražnja₍₄₎ / prosječna potražnja₍₁₋₄₎

Multiplikativne fluktuacije nastaju kada se u pojedinim potrazdobljima ciklusa može uočiti odstupanje od prosječne razine ili trenda za određeni stalni relativni iznos (Sobczyk, 2006). Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\check{y}_t = (L_{t-1} + T_{t-1})S_{t-p}$$



$$L_t = \alpha \left(\frac{y_t}{S_{t-p}} \right) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_t = \delta \left(\frac{y_t}{L_t} \right) + (1 - \delta)S_{t-p}$$

gdje:

α – faktor izgladivanja promjenjive razine

β – faktor izgladivanja trenda

δ – koeficijent sezonske komponente

L_t – komponenta razine u trenutku t

T_t – komponenta trenda u trenutku t

S_t – sezonska komponenta u trenutku t

p – se asonalno razdoblje.

Vrijedno je zapamtiti da je aditivni trend povezan s dvostrukim eksponencijalnim izgladivanjem s linearnim trendom, dok je multiplikativni trend povezan s dvostrukim eksponencijalnim izgladivanjem s eksponencijalnim trendom (www_8.2).

Formula koja se koristi u Excelu:

prognoza_(t) = (komponenta razine_(t-1) + komponenta trenda_(t-1)) * komponenta sezonskosti_(tp)



komponenta razine_(t) = alfa * [potražnja_(t) / komponenta sezonalnosti_(t)] + (1 – alfa) * (komponenta razine_(t-1) + komponenta trenda_(t-1))

komponenta trenda_(t) = beta * (komponenta razine_(t) – komponenta razine_(t-1)) + [(1 – beta) * komponenta trenda_(t-1)]



**komponenta sezonskosti $_{(t)}$ = gama * (komponenta potražnje $_{(t)}$ /
komponenta razine $_{(t)}$) + (1 – gama) * komponenta sezonskosti
 $_{(tp)}$**

komponenta sezonalnosti $_{(tp)}$ za četiri kvartala

**komponenta sezonalnosti $_{(1)}$ = potražnja $_{(1)}$ / prosječna potražnja
 $_{(1-4)}$**

**komponenta sezonalnosti $_{(2)}$ = potražnja $_{(2)}$ / prosječna potražnja
 $_{(1-4)}$**

**komponenta sezonalnosti $_{(3)}$ = potražnja $_{(3)}$ / prosječna potražnja
 $_{(1-4)}$**

**komponenta sezonalnosti $_{(4)}$ = potražnja $_{(4)}$ / prosječna potražnja
 $_{(1-4)}$**

Autoregresivne metode

Među prognostičkim modelima posebno mjesto zauzimaju modeli stacionarne ARMA serije (engl. *AutoRegressive Moving Average*) i nestacionarne ARIMA serije (engl. *AutoRegressive Integrated Moving Average* model). Riječ je o modelima koji se temelje na fenomenu autokorelacije, a nastali su integracijom AR autoregresionog modela (*AutoRegressive* model) i MA (*Moving Average*) modela (Grzelak, 2019).

Za potrebe ovog istraživanja bit će predstavljene 3 autoregresivne metode: (1) autoregresivni pomični prosjek (ARMA); (2) Autoregresivni integrirani pomični prosjek (ARIMA); (3) Nasumični hod (RW).

Modeli ARMA i ARIMA imaju mnogo sličnosti. Komponente AR(p) – opći autoregresivni model i MA – model općeg pomičnog prosjeka MA(q) su iste. Ono što razlikuje modele ARMA i ARIMA je razlika. Ako u modelu ARMA nema razlika, on jednostavno postaje model ARIMA.



Autoregresivni pomični prosjek, ARMA

Uvjet za prognoziranje prema ARMA metodi je niz podataka koji se odlikuje stacionarnošću. To znači da u ovoj seriji možemo razlikovati konstantnu srednju vrijednost, konstantnu varijancu i konstantnu kovarijancu, koja ovisi samo o vremenskom intervalu između vrijednosti (Schaffer i dr., 2021).

Prema modelu ARMA, vrijednost prognoze u trenutku t ovisi o svojim prošlim vrijednostima i razlikama između prošlih stvarnih vrijednosti varijable prognoze i njezinih vrijednosti dobivenih iz modela – pogreške prognoze. Ovaj model se naziva **ARMA (p,q)** model, gdje se p odnosi na red autoregresijskog polinoma, a q je red polinoma pomičnog prosjeka. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = \varepsilon_t + (\alpha y_{t-1} + \varepsilon_t) + (\beta y_{t-2} - \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t) + (\varepsilon_t + \alpha \varepsilon_{t-1})$$

gdje:

α – parametar autoregresijskog modela

β – parametar modela pomičnog prosjeka

ε – greška modela (bijeli šum).

Formula koja se koristi u Excelu:

prognoza_(t) = pogreška modela_(t) + komponenta₁ + komponenta₂ + komponenta₃



Pogreška modela_(t) = NORM.S.INV(rand())

komponenta₁ = alfa * komponenta1_(t-1) + pogreška modela_(t)

komponenta₂ = beta * komponenta2_(t-2) - alfa * komponenta2_(t-1) + pogreška modela_(t)

komponenta₃ = pogreška modela_(t) + alfa * pogreška modela_(t-1)



Autoregresivni integrirani pomični prosjek, ARIMA

U slučaju ARIMA modela, pozornost se obraća na nestacionarnost serije. U modelu postoje tri parametra: autoregresivni parametar (p), parametar pomičnog prosjeka (q) i redoslijed diferencijacije (d). ARIMA (p, q, d) model također se opisuje pomoću brojeva, na primjer: $(1, 1, 0)$, što znači da u nizu $p=1$ postoji jedan autoregresivni parametar, $q=1$ postoji jedan parametar pomičnog prosjeka i $d=0$, ne dolazi do diferencijacije (Malska i Wachta, 2015). Za navedeni primjer, formalni opći model je sljedeći:

$$\hat{y}_t = \alpha + y_{t-1} + \beta_1(y_{t-1} - y_{t-2})$$

gdje:

α – parametar autoregresijskog modela

β – kretanje prosjek parametar.



Formula koja se koristi u Excelu:

prognoza_(t) = alfa + potražnja_(t-1) + beta * [potražnja_(t-1) - potražnja_(t-2)]

Nasumični hod, RW

Model nasumični hod (engl. *Random Walk*) potkategorija je modela ARIMA. U jednostavnom RW modelu, pretpostavlja se da je svaka prognoza zbroj posljednjeg opažanja i slučajne pogreške. Stoga pretpostavlja da je najnovije opažanje najbolji pokazatelj za izradu najbliže sljedeće prognoze. Ovaj model je prilično jednostavan za razumijevanje i implementaciju. Koristi se kada se u nizu podataka promatra razvojni trend. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = y_{t-1} - y_{t-2}$$

gdje:

ε – greška modela (bijeli šum).



Formula koja se koristi u Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \text{potražnja}_{(t-1)} + [\text{potražnja}_{(t-1)} - \text{potražnja}_{(t-2)}]$$

Uočeno je da mnoge složene metode predviđanja temeljene na linearnoj strukturi ne mogu pobijediti naivni RW model (Adhikari i Agrawal, 2014).

Regresijske metode

U regresijskim modelima nije moguće govoriti o utjecaju jedne varijable na drugu. Pomoću varijable ili skupa varijabli objašnjava se druga varijabla. Za primjenu regresijskih metoda potrebna je veća količina povijesnih podataka – što je dulje razdoblje promatranja povijesnih podataka, veća je mogućnost preciznog utvrđivanja prognoza.

Poznate su mnoge varijante regresijskih modela: linearna regresija, nelinearna regresija, logistička regresija, stepenasta regresija, ordinalna regresija. Formula za opći oblik regresije je:

$$\hat{y}_t = f(X, \beta) + \varepsilon_t$$

gdje:

X – eksplanatorna, predviđajuća varijabla

β – koeficijent regresije

$f(X, \beta)$ – regresijska jednadžba

ε_t – slučajna greška.

Za potrebe ovog istraživanja bit će predstavljene tri metode eksponencijalnog izgladivanja: (1) Metoda projekcije trenda; (2) Metoda jednostavne linearne regresije; (3) Metoda višestruke linearne regresije.

Metoda projekcije trenda

Metoda projekcije trenda je varijacija metode ravne linije. To je najklasičnija metoda poslovnog predviđanja koja se bavi kretanjem varijabli tijekom vremena. Može se razlikovati



grafička metoda – u kojoj se podaci prikazuju na grafikonu i kroz njega se ručno povlači linija. Povlači se linija držeći najmanju udaljenost između označenih točaka i crte; **metoda prilagođavanja jednadžbe trenda** korištenjem podataka i jednadžbe ravne ili eksponencijalne linije.

Metoda jednostavne linearne regresije

Metoda linearne regresije je najjednostavnija varijanta regresije. Svrha metode linearne regresije je uklopiti ravnu liniju u podatke. Stoga je potrebno pronaći rješenje koje će vam omogućiti pronalaženje optimalne ravne linije koja će najbolje pokazati odnos između podataka. U metodi jednostavne linearne regresije, model predviđanja temelji se na linearnoj tendenciji. Da biste odredili regresijsku liniju, a time i vrijednosti u modelu linearne regresije, morate izračunati koeficijente ravne linije a i b . Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = at + b$$

gdje:

a – vrijednost varijable u analiziranom razdoblju

b – vrijednost povećanja ili smanjenja zavisne varijable

n – redni broj analiziranog i prognoziranog razdoblja.

Za određivanje parametara a i b potrebno je izračunati sustav dviju jednadžbi. Ima sljedeći oblik:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n t_i \cdot y_i \\ a \sum_{i=1}^n t_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

gdje:

t_i – redni broj perioda ($t = 1, 2, 3, \dots$), koji je vrijednost nezavisne vremenske varijable

y_i – zavisna varijabla (npr. potražnja za određenom robom u određenom vremenskom razdoblju)

a – vrijednost varijable u analiziranom razdoblju



b – vrijednost povećanja ili smanjenja zavisne varijable
 n – broj svih analiziranih razdoblja.



Međutim, najbrži način za izračunavanje gornjih koeficijenata regresije je korištenje funkcije LINEST.

Sintaksa :

LINEST(poznato_y,[poznato_x],[konstanta],[statistika])

Metoda višestruke linearne regresije

Višestruka linearna regresija omogućuje vam izgradnju modela linearnih odnosa između mnogih varijabli. Metoda višestruke linearne regresije koristi se u analizi podataka za ispitivanje složenih odnosa između više varijabli. Ovo je predstavljeno formalnim modelom:

$$\hat{y}_t = a + b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_iy_i + \varepsilon$$

gdje:

a – vrijednost varijable u analiziranom razdoblju

b – vrijednost povećanja ili smanjenja zavisne varijable

ε – greška modela (bijeli šum).

8.7. Pogreške prognoze

Da bi se procijenila točnost predviđanja, moraju se izmjeriti pogreške predviđanja. S obzirom da ne postoji jamstvo savršenog predviđanja buduće potražnje (Hopp i Spearman, 1999), svaka je prognoza podložna greškama.

Istraživači razlikuju sustavne i nesustavne učinke pogrešaka u predviđanju (Zeiml i dr., 2019). Učinkovitost sustava predviđanja obično se mjeri pomoću različitih mjera pogreške predviđanja (tablica 8.5).



Tablica 8. 5. Odabrane pogreške predviđanja

Pogreška prognoze	Model	Tumačenje
Srednja kvadratna pogreška (MSE)	$MSE = \frac{\sum (y_t - p_t)^2}{n}$	Srednja kvadratna pogreška može biti samo pozitivna i njezina vrijednost treba biti što manja. Vrijednost ove pogreške, koja iznosi 0, ukazuje na izvrsnu točnost prognoze.
Korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (p_t - y_t)^2}{n}}$	Vrijednost pogreške trebala bi biti što bliža 0. Što je niža vrijednost srednje kvadratne pogreške, to je model bolji. A savršen model ima vrijednost jednako 0.
Srednja apsolutna postotna pogreška (MAPE)	$MAPE = \frac{\sum E_t - A_t }{A_t}$	Ovo je jedna od popularnijih mjera pogreške. Vrijednost 0 označava da model nema srednju pogrešku, što znači da bi vrijednost trebala biti što je moguće bliža 0. Za iste pogreške predviđanja, manje stvarne vrijednosti čine relativnu pogrešku većom.
Srednja pogreška u postotku (MPE)	$MPE = \frac{100\%}{n} \sum \frac{a_t - f_t}{a_t}$	Ovo je prosječni postotak pogreške (ili odstupanja). Obavještava koliko će u prosjeku biti odstupanje od stvarne vrijednosti tijekom predviđenog razdoblja. MPE je koristan jer vam omogućuje da provjerite da li model prognoze sustavno podcjenjuje (negativnija pogreška) ili precjenjuje (pozitivna pogreška).
Srednje apsolutno odstupanje (MAD)	$MAD = \sum \frac{ x_t - \bar{x}_t }{n}$	To je jednostavno proširenje apsolutne varijance. Srednje apsolutno odstupanje koristi se kao mjera varijacije u podacima.

Izvor: (Hyndman i Koehler, 2006; Zeiml i dr., 2019).

8.8. Prednosti predviđanja u Excelu

Za predviđanje se može koristiti Microsoft Excel. Koristeći razvijene algoritme i na temelju prikupljenih podataka iz prošlosti, možete pripremiti obrasce za izradu predviđanja i, kao rezultat toga, donositi ispravne odluke u poslovanju. Excel je osnovni alat za predviđanje.



Tablica 8. 6. Odabrane značajke programa Excel

Funkcija	Obrazloženje
=AVERAGE	funkcija omogućuje izračunavanje prosjeka na temelju postojećih vrijednosti.
=SUM	Funkcija omogućuje izračunavanje zbroja na temelju postojećih vrijednosti.
=FORECAST	Funkcija omogućuje predviđanje buduće vrijednosti iz postojećih vrijednosti pomoću linearne regresije.
=FORECAST.ETS	Izračunava ili predviđa buduću vrijednost na temelju postojećih (povijesnih) vrijednosti pomoću verzije algoritma eksponencijalnog izgladivanja (ETS).
=LINEST	Izračunava statistiku za liniju pomoću metode najmanjih kvadrata.
=FORECAST.LINEST	Izračunava ili predviđa buduću vrijednost iz postojećih vrijednosti pomoću linearne regresije.
=TREND	Koristit će se za određivanje linearnog trenda.
=PROGNOZA.ETS.SEASONALITY	Izračunava duljinu sezonskog uzorka na temelju postojećih vrijednosti i vremenske trake.

Izvor: vlastita studija.

Excel koriste u predviđanju mnoge tvrtke, male, srednje i velike (uključujući i korporacije), jer ima na raspolaganju niz odgovarajućih alata. Podaci se mogu jednostavno pohraniti i izračunati u Excel radnoj knjizi. Excel može na različite načine vizualizirati prikupljene i obrađene podatke, što je korisno i pomaže u lakšem predviđanju (www_8.3).

Uostalom, Excel koristi mnoge formule koje se mogu koristiti u radnoj knjizi programa kao pomoć pri izračunavanju predviđenih vrijednosti. Excel podržava nekoliko različitih funkcija koje vam omogućuju korištenje softvera na praktičan način (Tablica 8.6). Njihovo razumijevanje ključno je za postizanje maksimuma iz Excela.



Nedostaci Excela uključuju potrebu za ručnom sinkronizacijom podataka i ručnim ažuriranjem podataka. Drugi čest problem je mogućnost pravljenja pogrešaka kao rezultat pogrešno izvedenog uvoza podataka ili kao rezultat prekida formule. Budući da je Excel program za ručni unos podataka, podaci koji se koriste za predviđanje nisu podaci u stvarnom vremenu.

8.9. Umjetna inteligencija u predviđanju

Podaci o lancu opskrbe višedimenzionalni su i generiraju se na više točaka u lancu, za više svrha, u velikim količinama (zbog mnoštva dobavljača, proizvoda i kupaca) i velikom brzinom (što odražava mnoge transakcije koje se kontinuirano obrađuju u mrežama lanca opskrbe). Ova složenost i višedimenzionalnost opskrbnih lanaca uzrokuje odmak od konvencionalnih (statističkih) pristupa predviđanju potražnje, koji se temelje na identifikaciji statistički prosječnih trendova (karakteriziranih atributima srednje vrijednosti i varijance) (Michna i dr., 2020), prema inteligentnim prognozama koje mogu učiti iz povijesnih podataka i inteligentno se razvijati kako bi se prilagodile predviđanju stalno promjenjive potražnje u opskrbnim lancima.

Odgovor na nove potrebe i izazove je anticipativna logistika, koja podržava procese kao što je predviđanje potražnje. U njezinoj srži leži mogućnost korištenja umjetne inteligencije (AI). To je kombinacija modernih tehnologija kao što su Big Data (BD), strojno učenje (ML) i umjetna inteligencija (Sczaniecka i Smarzyńska, 2018). Tehnološki napredak posljednjih godina doveo je do sve češćeg generiranja i pohranjivanja ogromnih količina podataka. Ti se podaci tijekom vremena bilježe na različitim točkama (npr. na različitim karikama u opskrbnom lancu) i pohranjuju na različitim mjestima. Stoga ih treba učinkovito obrađivati kako bi se iz njih izvuklo korisno i vrijedno znanje (Galicija i dr., 2019).

Big Data odnosi se na dinamičke skupove podataka velike količine, velike brzine i velike raznolikosti koji premašuju mogućnosti obrade tradicionalnih pristupa upravljanju podacima (Chen i dr., 2014). Big Data može pružiti mnoštvo jedinstvenih uvida u stvari kao što su tržišni trendovi, obrasci kupnje kupaca i ciklusi održavanja, kao i načine za smanjenje troškova i donošenje ciljanijih poslovnih odluka (Wang i dr., 2016). Istraživanja pokazuju da analitika velikih



podataka (BDA) može pružiti način za dobivanje preciznijih predviđanja koja bolje odražavaju potrebe kupaca, olakšavaju procjenu performansi lanca opskrbe, poboljšavaju učinkovitost lanca opskrbe, skraćuju vremena odgovora i podržavaju procjenu rizika lanca opskrbe (Awwad i dr, 2018).

Big Data Analytics (BDA) u upravljanju opskrbnim lancem (SCM) dobiva sve veću pozornost (Seyedan i Mafakheri, 2020). Analiza podataka o lancu opskrbe postala je složen zadatak zbog (Awwad i dr., 2018):

- sve veći broj SC subjekata,
- povećanje raznolikosti SC konfiguracija ovisno o homogenosti ili heterogenosti proizvoda,
- međuovisnosti između ovih entiteta,
- neizvjesnost o dinamičkom ponašanju ovih komponenti,
- nedostatak informacija o subjektima opskrbnog lanca,
- umreženih proizvodnih subjekata i njihove sve veće koordinacije i suradnje radi postizanja visoke razine prilagodbe različitim potrebama kupaca,
- sve veća uporaba praksi digitalizacije opskrbnog lanca (i uporaba Blockchain tehnologije) za praćenje aktivnosti opskrbnog lanca.

Metode umjetne inteligencije razvijaju se vrlo intenzivno diljem svijeta, kako teorijski tako i u smislu primjene (Trojanowska i Malopolski, 2004). Od metoda umjetne inteligencije za predviđanje se koriste umjetne neuronske mreže. Neuronske mreže imaju niz značajki koje su korisne za analizu i predviđanje vremenskih serija. Njihova učinkovitost prvenstveno se odnosi na ugađanje usvojene strukture temeljene na podacima. Proces izgradnje neuralnog modela uključuje istraživanje dostupnih skupova podataka i omogućuje automatsku procjenu modela. Dodatna prednost neuronskih mreža je njihova lakoća prilagodbe promjenjivim tržišnim uvjetima (Ciežak i dr., 2006).

Za razliku od tradicionalnih metoda temeljenih na modelima, **umjetne neuronske mreže** (engl. *Artificial Neural Networks*, ANN) su samoprilagodljive metode koje se temelje na podacima. Oni uče iz primjera i hvataju suptilne funkcionalne odnose između podataka, čak i ako su temeljni odnosi nepoznati ili ih je teško opisati. Umjetne neuronske mreže mogu



generalizirati (Hornik i dr., 1989). Nakon ispitivanja prikazanih podataka, oni mogu zaključiti o nevidljivom dijelu populacije, čak i ako podaci uzorka sadrže šumne informacije. Također imaju općenitije i fleksibilnije funkcionalne oblike od tradicionalnih statističkih metoda (Zhang i dr., 1998).

PITANJA POGLAVLJA

1. Koja su ograničenja korištenja metoda vremenskih serija u predviđanju potražnje?
2. Koje su glavne komponente vremenske serije i koja je njihova važnost u procesu predviđanja?
3. Koje su različite strategije za postupanje s ekstremnim podacima?

LITERATURA

Adhikari R., Agrawal R.K. (2014) A combination of artificial neural network and random walk models for financial time series forecasting. *Neural Comput i Applic* 24, 1441-1449.

Ali M.M., Boylan J.E. i Syntetos A.A. (2012). Forecast errors and inventory performance under forecast information sharing, *International Journal of Forecasting*, 28(4), 830-841.

Altendorfer K. i Felberbauer T. (2023) Forecast and production order accuracy for stochastic forecast updates with demand shifting and forecast bias correction. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 125, 102740.

Awwad, M., Kulkarni, P., Bapna, R. i Marathe, A. (2018). Big data analytics in supply chain: a literature review. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Washington DC, USA, Vol. 2018*, pp. 418-25.

Carreno J.J. i Madinaveitia J. (1990) A modification of time series forecasting methods for handling announced price increases. *International Journal of Forecasting*, 6(4), 479-484.



- Chatfield Ch., Koehler A.B., Ord J.K. i Snyder R.D. (2001) A New Look at Models For Exponential Smoothing, *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 50(2), 147-159.
- Chatfield, C. (2001). *Time Series Forecasting*, Chapman i Hall/CRC, Floryda: Boca Raton
- Chen, M., Mao, S., Zhang, Y. i Leung, V.C. (2014). *Big data: related technologies, challenges and future prospects* (Vol. 100). Heidelberg: Springer
- Cieślak, M. (Ed) (2005): *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*. Wyd. Naukowe PWN. Warszawa
- De Gooijer J.G. i Hyndman R.J. (2006) 25 years of time series forecasting, *International Journal of Forecasting*, 22(3), 443-473.
- Dittmann, P. (2003). *Prognozowanie w przedsiębiorstwie*. Kraków: Oficyna Ekonomiczna
- Gajda, J.B. (2001). *Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze*, Warszawa: Wydawnictwo C.H. Beck
- Galicía A., Talavera-Llames R., Troncoso A., Koprinska I. i Martínez-Álvarez F. (2019). Multi-step forecasting for big data time series based on ensemble learning, *Knowledge-Based Systems*, 163, pp. 830-841.
- Grzelak M. (2019) Zastosowanie modelu ARIMA do prognozowania wielkości produkcji w przedsiębiorstwie, *Systemy Logistyczne Wojsk*, 50.
- Grzybowska, K. (2009). *Gospodarka Zapasami i Magazynem*, cz. 1, Difin.
- Güllü R. (1996) On the value of information in dynamic production/inventory problems under forecast evolution. *Naval Research Logistics (NRL)*, 43(2), 289-303.
- Hopp W.J. i Spearman M.L. (1999). *Factory physics*. 2nd. edn. McGraw-Hill / Irwin: Boston
- Hornik K., Stinchcombe M. i White H. (1989) Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural networks*, 2(5), 359-366.
- Hyndman R.J. i Koehler A.B. (2006) Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, 22(4), 679-688.



- Kucharski, A. (2013). Prognozowanie szeregów czasowych metodami ewolucyjnymi. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego
- Malska W. i Wachta H. (2015) Wykorzystanie modelu ARIMA do analizy szeregu czasowego. *Advances in IT and Electrical Engineering*, 23(34-3), 23-30.
- Michna Z., Disney S.M., Nielsen P. (2020). The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect under correlated demand and moving average forecasts, *Omega*, 93, 102033.
- Rosas A.L. i Guerrero V.M. (1994) Restricted forecasts using exponential smoothing techniques. *International Journal of Forecasting*, 10(4), 515-527.
- Sczaniecka, E. i Smarzyńska, N. (2018). Logistyka wyprzedzająca, czyli innowacyjne podejście do branży e-commerce. *Journal of TransLogistics*, 4(1), pp. 119-128
- Seyedan M. i Mafakheri F. (2020) Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. *J Big Data* 7(53).
- Schaffer A.L., Dobbins T.A. i Pearson S.A. (2021) Interrupted time series analysis using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models: a guide for evaluating large-scale health interventions. *BMC Med Res Methodol* 21(58).
- Sheldon, P.J. (1993). Forecasting tourism: expenditure versus arrivals, *Journal of Travel Research*, 32, 13-20
- Sobczyk M. (2006) Statystyka, aspekty praktyczne i teoretyczne. Lublin: Wydaw. UMCS.
- Tan T., Güllü R. i Erkip N. (2009) Using imperfect advance demand information in ordering and rationing decisions, *International Journal of Production Economics*, 121(2), 665-677.
- Trojanowska M. i Malopolski J. (2004) Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do prognozowania miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej na wsi. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria*, 3(1-2).
- Wang G., Gunasekaran A., Ngai E.W.T., Papadopoulos T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, pp. 98-110.



Wojciechowski, A. i Wojciechowska, N. (2015). Zastosowanie klasycznych metod prognozowania popytu w logistyce dużych sieci handlowych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 41, 545-554

Wolny, M. i Kmiecik, M. (2020). Forecasting demand for products in distribution networks using R software. Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska, 107-116

Zeiml S., Altendorfer K., Felberbauer T. i Nurgazina J. (2019) Simulation based forecast data generation and evaluation of forecast error measures. In 2019 Winter Simulation Conference (WSC) (2119-2130). IEEE.

Zhang G., Patuwo B.E. i Hu M.H. (1998) Forecasting with artificial neural networks:: The state of the art, International Journal of Forecasting, 14(1), 35-62.

(www_8.1) <https://online.stat.psu.edu/stat501/> (dostęp: 08.02.2024)

(www_8.2) <https://machinelearningmastery.com/exponential-smoothing-for-time-series-forecasting-in-python/> (dostęp: 08.02.2024)

(www_8.3) <https://www.inventory-planner.com/forecasting-in-excel/> (dostęp: 08.02.2024)

(www_8.4) [IPM Insights Metrics \(oracle.com\)](https://ipm.oracle.com/) (dostęp: 05.02.2024)



9. UPRAVLJANJE ZALIHAMA



U poglavlju su prikazana najvažnija pitanja vezana uz upravljanje zalihama. Poseban naglasak stavljen je na analizu logističkih podataka, za što se može koristiti proračunska tablica. Ovdje ćete pronaći teme vezane uz:

- razinu korisničke usluge,
- funkcije i podjela zaliha,
- troškove zaliha,
- osnovne modele klasifikacije zaliha,
- osnovne modele nadopunjavanja.

9.1. Uvod

U sadašnjim uvjetima funkcioniranja globalnih opskrbnih lanaca, ključni čimbenik koji određuje konkurentnost je vrijeme potrebno za uvođenje proizvoda ili usluge na tržište. Organizacije koje žele steći ili zadržati konkurentsku prednost trebaju implementirati rješenja koja karakteriziraju i brzina i prilagodljivost u odgovoru na zahtjeve kupaca i fluktuacije tržišta. Prije pandemije COVID-19 mnoge su se tvrtke naginjale strategiji baš na vrijeme (engl. *Just-in-time*, JIT), minimizirajući razine zaliha i maksimizirajući učinkovitost isporukom sirovina i komponenti točno kada su potrebni u proizvodnom procesu. Fleksibilnost je bila važna, ali ne uvijek prioritet, jer je ključno bilo održati niske razine zaliha i minimizirati vrijeme ispunjenja narudžbe.

Nakon pandemije COVID-19 značajno se povećao naglasak na fleksibilnost i otpornost sustava. Tvrtke koje su se prethodno oslanjale na isporuku točno na vrijeme počele su revidirati svoj pristup prema većoj sigurnosti i diversifikaciji opskrbnih lanaca kako bi bile bolje pripremljene za buduće poremećaje. Postalo je jasno da sustavi upravljanja zalihama moraju biti dinamičniji kako bi brzo odgovorili na neočekivane promjene u potražnji i dostupnosti sirovina ili komponenti. Kao rezultat toga, mnoge su organizacije počele održavati više razine



sigurnosnih zaliha i ulagati u napredne analitičke tehnologije i umjetnu inteligenciju, koje omogućuju bolje predviđanje i odgovor na promjene u stvarnom vremenu.

Tradicionalne metode predviđanja, iako se široko koriste, nisu uvijek učinkovite jer pogreške u predviđanju mogu dovesti do potrebe za pohranjivanjem dodatnih zaliha. Stoga je učinkovitije rješenje korištenje stvarnih podataka o potrošnji kupaca, što omogućuje bolju prilagodbu logističkih sustava i smanjuje ovisnost o prognozama. Međutim, potrebno je voditi računa o održavanju maksimalne razine korisničke usluge (CSL) uz ograničavanje troškova i smanjenje imovine zamrznute u opskrbenj mreži (Cyplik i Hadaś, 2012).

Zalihe su količina robe koju poduzeće skladišti kako bi zadovoljilo trenutne i buduće potrebe (runaud i dr., 2019). Zalihe su materijalne komponente tekuće imovine. Zaliha ima određenu lokaciju, mjesto skladištenja, a njegova veličina se može izraziti u kvantitativnim i vrijednosnim mjerama (Niemczyk i dr., 2011).

Zalihe zauzimaju prostor i vezuju kapital. Stoga je upravljanje zalihama bitno svesti na minimum kako bi se osigurao kontinuitet poslovanja. **Upravljanje zalihama** odnosi se na proces nadzora i kontrole razine zaliha, razine skladišta i njihovog skladištenja u poduzeću. To uključuje odlučivanje o tome koliko zaliha držati, kada ponovno naručiti ili obnoviti zalihe i kako optimizirati korištenje zaliha kako bi se zadovoljila potražnja uz minimiziranje troškova i maksimiziranje učinkovitosti (Song i dr., 2020). Učinkovito upravljanje zalihama uključuje zadatke kao što su predviđanje potražnje, praćenje razina zaliha, obnavljanje zaliha, optimiziranje skladišnog prostora i smanjenje zaliha ili viška zaliha (Jain i dr., 2022).

Cilj upravljanja zalihama je osigurati da pravi proizvodi budu dostupni u pravim količinama, u pravo vrijeme i na pravom mjestu kako bi se zadovoljile potrebe kupaca, a da se istovremeno izbjegne nedostatak zaliha, prevelike zalihe i povezani troškovi (Jain i dr., 2022; Matusiak, 2022).



9.2. Razina korisničke usluge

Usluge kupcima je širok pojam, zbog čega je teško formulirati jasnu definiciju. Ovaj pojam pokriva sve aspekte interakcije između dobavljača i potrošača, uključujući i nematerijalne i materijalne elemente (Strojny, 2008). Stoga se usluge kupcima često razmatraju iz tri različite perspektive (Bowersox i Closs, 1996):

- usluge kupcima kao specifične aktivnosti – to je određeni skup poslova koje tvrtka mora obaviti kako bi ispunila očekivanja kupaca, npr. obrada narudžbi, izdavanje računa, obrada povrata i reklamacija,
- usluge kupcima kao mjera uspješnosti aktivnosti – to znači procjena kroz prizmu različitih pokazatelja uspješnosti, kao što su postotak narudžbi isporučenih na vrijeme i u potpunosti te brzina obrade narudžbi,
- usluge kupcima kao filozofija – uključuje stvaranje okruženja i organizacijske kulture koja ima za cilj osigurati najvišu razinu zadovoljstva korisnika kroz optimalnu uslugu na svim razinama poslovanja tvrtke.

U kontekstu upravljanja zalihama, ključna zadaća u formuliranju i održavanju sigurnosnih zaliha je jamčenje odgovarajuće razine usluge kupcima. Stoga je potrebno definirati **razinu korisničke usluge** (engl. *Customer Service Level*) koja se sa stajališta jednog proizvodnog asortimana može promatrati (Bowersox i Closs, 1996; Cyplik i Hadaś, 2012):

- probabilistički – kao vjerojatnost da ne dođe do manjka na zalihama u određenom ciklusu nadopune,
- kvantitativno – kao stupanj ispunjenja kvantitativne potražnje.

Probabilistička **razina korisničke usluge** znači da je vjerojatnost da se od trenutka kada je narudžba, odnosno započne proces nadopune, pa sve dok primljena pošiljka ne postane dostupna za korištenje (što znači da završi ciklus nadopune), sve potrebe mogu biti zadovoljene, a da zalihe ne budu rasprodane. To je definirano kao vjerojatnosna razina usluge, koja se izražava u postocima (Bowersox i Closs, 1996; Cyplik i Hadaś, 2012). Vjerojatnost razine korisničke usluge može se izračunati iz formule:



$$PSL = (I_d - I_{dn}) / I_d \times 100\%$$

gdje:

PSL – probabilistička razina usluge,

I_d – broj ciklusa nadopunjavanja zaliha tijekom ispitivanog razdoblja,

I_{dn} – broj ciklusa popunjavanja zaliha u kojima su zabilježeni manjkovi tijekom promatranog razdoblja



Formula koja se koristi u Excelu :

$$PSL = \frac{[\text{broj ciklusa nadopune zaliha}] - [\text{broj ciklusa nadopune zaliha u kojima su zabilježeni nedostaci}]}{[\text{broj ciklusa nadopune zaliha}]} * 100\%$$

PSL (vjerojatnost zadovoljenja potražnje unutar ciklusa nadopune) od 95% znači da će 95 puta od 100, kada kupci žele kupiti proizvod, tvrtka moći ispuniti njihove narudžbe bez kašnjenja i bez čekanja na isporuku.

Kvantitativna razina korisničke usluge odnosi se na izvršenje narudžbi u kvantitativnom smislu. Stopa popunjenosti potražnje (DFR) – određuje koji je postotak potražnje koju su prijavili kupci otpušten sa zaliha (Bowersox i Closs, 1996.; Cyplik i Hadaś, 2012.).

Stopa ispunjenosti potražnje može se izračunati pomoću formule:

$$DFR = (PR - NB) / PR$$

gdje:

DFR – Stopa ispunjenja potražnje,

PR – potražnja, ukupan broj naručenih jedinica,

NB – broj nedostataka.

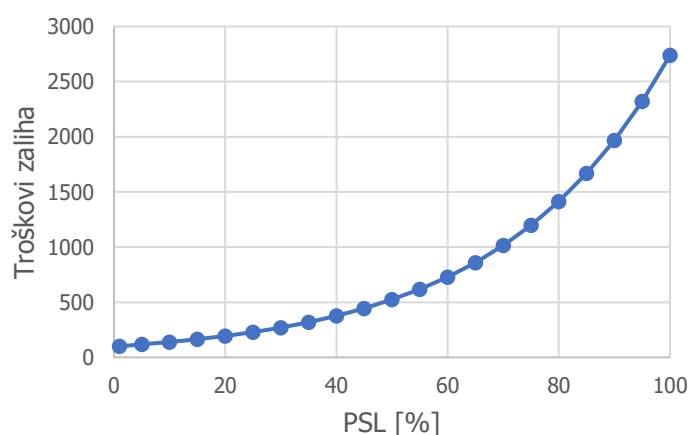


Formula koja se koristi u Excelu :

$$DFR = \frac{[\text{potražnja}] - [\text{nema nedostataka}]}{[\text{zahtjev}]}$$

DFR (Stopa ispunjenja potražnje) od 0,95 znači da će za sve narudžbe koje su naručitelji naručitelji 95% njih biti ispunjeno izravno iz dostupnih zaliha, a samo 5% može zahtijevati dodatno vrijeme za obnavljanje zaliha ili neće biti ispunjene zbog nedostatka

Bez obzira na usvojenu definiciju, očito je da odnos između razine korisničke usluge i ulaganja u zalihe karakterizira eksponencijalni odnos (slika 9.1). To znači da uz visoke postotke razine korisničke usluge (PSL), svako daljnje povećanje ovog pokazatelja dovodi do eksponencijalnog povećanja ulaganja u zalihe (Cyplik i Hadaś, 2012).



Slika 9. 1. Odnos između PSL-a i troškova zaliha

Izvor: vlastita studija

Poboljšanje logističke usluge kupcima složen je i sustavan proces. Sljedeći elementi se najčešće analiziraju i dijele u tri faze (Powell Robinson i Satterfield, 1990):



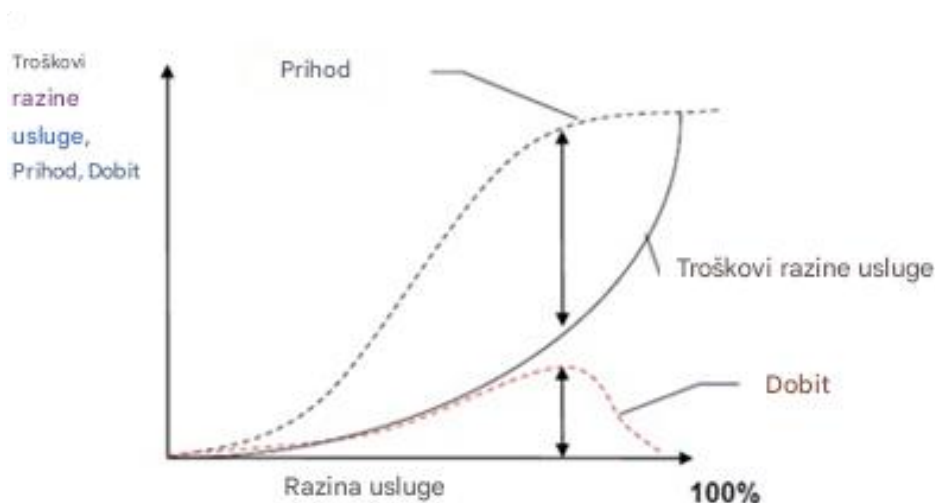
- predtransakcijski – ima za cilj pripremiti organizaciju za korisničku službu: npr. politika korisničke službe, organizacijska struktura, standardi, postupci i upute, obuka za korisničku službu,
- transakcijski – izravan kontakt kupca s tvrtkom i finalizacija transakcije prema njegovim zahtjevima: npr. postotak neispunjenih narudžbi, podaci o narudžbi, jednostavnost narudžbe, učestalost, pouzdanost, cjelovitost, točnost isporuka,
- post-transakcijski – omogućuje tvrtki održavanje daljnjeg kontakta s kupcem: npr. instalacije, jamstva, popravke, praćenje proizvoda, rješavanje pritužbi kupaca, povrate, razmjenu neispravnih proizvoda, pružanje zamjenskih proizvoda.

Trenutačno se najveći naglasak stavlja na transakcijske elemente logističke korisničke usluge. Mogu se kategorizirati u četiri glavne skupine povezane s (Papiernik-Wojdera i Sikora, 2022):

- vrijeme, kupac želi što brže primiti narudžbu, stoga nastojanje da se skрати vrijeme izvršenja narudžbe,
- pouzdanost, promatrana u tri dimenzije: sigurnost da će narudžba biti izvršena bez manjkova i oštećenja u transportu, cjelovitost primljene narudžbe u skladu sa specifikacijom uključenom u ugovor, točnost izvršenja narudžbe,
- pogodnost vezana uz dostupnost proizvoda, stupanj individualizacije usluge ovisno o potrebama kupaca, sveobuhvatnost ponude, učestalost isporuka, minimalna veličina serije za isporuku, komunikacijska pogodnost (lokacija, infrastruktura),
- komunikacija, što uključuje stručnost osoblja, jednostavnost narudžbe, dostupnost informacija o statusu narudžbe, informacije i savjete o postprodajnim uslugama, jasnoću, razumljivost i potpunost dokumentacije, sredstva komunikacije i informatičke alate koji podržavaju komunikaciju s kupcem.

Treba napomenuti da postoji ravnoteža koju tvrtka mora pronaći između cijene usluge i zadovoljstva korisnika kako bi maksimizirala profit (slika 9.2). Preniska razina usluge može

ograničiti prihode, dok previsoka može pretjerano povećati troškove, što smanjuje profit (Placencia i dr., 2020). Nakon prekoračenja točke ravnoteže, dodatni troškovi povezani s daljnjim povećanjem razine usluge nadmašuju povećanje prihoda, što dovodi do smanjenja dobiti.



Slika 9. 2. Odnos između razine korisničke usluge i prihoda i dobiti

Izvor: vlastita studija

9.3. Funkcije i vrste zaliha

Logistički procesi koji se odvijaju u poduzećima i u opskrbnim lancima stalno su popraćeni stvaranjem zaliha. Zalihe se stvaraju kako bi se izjednačila razlika u intenzitetu tokova robe. Stoga se mogu naznačiti sljedeće **funkcije zalihaa** (Bril i Łukasik, 2013; Hachuła i Schmeidel, 2016):

- osiguranje dostupnosti robe kada se pojavi potražnja,
- zaštita od slučajnih fluktuacija neovisne potražnje i materijalnih potreba u poduzeću,
- zaštita od neočekivanih promjena vremena obrade naloga,
- zaštita od poskupljenja,
- postizanje nižih cijena zbog većeg opsega kupnje,



- manji troškovi transporta zbog većeg opsega nabave,
- potreba za kupnjom sezonske robe,
- potreba začinjavanja nekih materijala iz tehnoloških razloga.

Mnogi čimbenici utječu na **razinu i strukturu zaliha** u poduzeću. To uključuje sljedeće (Bril i Łukasik, 2013):

- opseg i ritam proizvodnje,
- učestalost isporuka i obujam jednokratne isporuke materijala,
- razlike u troškovima transporta velikih i malih serija zaliha i troškovima skladištenja,
- duljina razdoblja pripreme materijala za proizvodnju,
- stupanj proširenja ponude proizvoda,
- razvoj informacijskih tehnologija,
- razvoj tržišta transportnih usluga,
- korištene metode planiranja zaliha i upravljanja.

Zalihe u poduzeću mogu se podijeliti prema različitim kriterijima. Za potrebe obračuna u području računovodstva i njihovog mjesta u opskrbnom lancu, razlikuju se (Selivanova i dr., 2018):

- materijali – sirovine, osnovni i pomoćni materijali, poluproizvodi inozemne proizvodnje, ambalaža, rezervni dijelovi i otpad,
- gotovi proizvodi – gotovi proizvodi, pružene usluge, izvedeni radovi, uključujući građevinske i montažne radove, znanstveno-istraživačke radove, projektantske radove, geodetske i kartografske radove i sl.,
- poluproizvodi i proizvodi u tijeku – nedovršena proizvodnja, odnosno proizvodnja (usluge, uključujući građevinske radove) u tijeku i poluproizvodi (poluproizvodi) vlastite proizvodnje,
- roba – materijalni dijelovi kratkotrajne imovine kupljeni za preprodaju u nepromijenjenom obliku; avansna plaćanja za opskrbu zaliham.

Međutim, u području upravljanja zaliham a moguća je podjela zaliha prema kvantitativnoj strukturi zaliha (prema stopi obrtaja): rotirajuće zalihe, nerotirajuće zalihe, zalihe



koje ne pokazuju kretanje (višak zaliha, hitne zalihe) ili funkcije zaliha – razlog nastanka: cikličke zalihe (tekuće, radne zalihe), sigurnosne zalihe, sezonske zalihe, špekulativne zalihe, strateške zalihe (Bril i Łukasik, 2013 ; Matusiak, 2022; Wild, 2017; Kryżaniak & Cyplik, 2008; Fertsch, 2006; Krzyżaniak, 2015).

Elementi strukture zaliha su:

- **cikličke zalihe**, rotirajuće zalihe, to su zalihe koje tvrtka koristi u tijeku normalne proizvodnje ili distribucije i ponovno stvara u rutinskom procesu naručivanja; Cikličke zalihe u određenom razdoblju jednake su polovici prosječne količine pošiljke u tom razdoblju:

$$S_c = \frac{1}{2} \times \overline{DS}$$

gdje:

S_c – ciklička zaliha,

$\overline{DS}$ – prosječna veličina isporuke.



Formula koja se koristi u Excelu:

$S_c = 0,5 * [\text{prosječna veličina isporuke}] = 0,5 * [\text{PROSJEK} ([\text{raspon ćelija}])]$

- **Višak zaliha** se definira kao nerotirajući, suvišan ili mrtva zaliha, nema nikakvu vrijednost za poduzeće koje bi se trebalo riješiti takvih zaliha, održavanje tih zaliha je neopravdan trošak za poduzeće. Višak zaliha je višak zaliha iznad potreba definiranih prosječnom potražnjom tijekom ciklusa nadopune i pretpostavljenom razinom korisničke usluge. Izračunava se iz formule:

$$S_E = S_{AV} - S_S - S_C$$

gdje:

S_E – višak zaliha,

S_{AV} – srednje zalihe,



S_S – sigurnosne zalihe,

S_C – ciklične zalihe.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$S_E = [\text{srednje zalihe}] - [\text{sigurnosne zalihe}] - [\text{ciklične zalihe}]$$

Parametri sustava za dopunu su:

- **sigurnosna zaliha**, nerotirajuća zaliha namijenjena je sprječavanju hitnih zastoja u proizvodnji ili distribuciji, te je međuspremnik za kašnjenja u isporukama i ispunjenju narudžbi, ovisno o razini korisničke usluge u probabilističkom pristupu (PSL). Sigurnosne zalihe za povijesne podatke zahtijevaju sljedeće informacije: prosječna potražnja po jedinici vremena, prosječno vrijeme ciklusa nadopune, standardna devijacija potražnje, standardna devijacija vremena ciklusa nadopune. Sigurnosne zalihe za prognozirane podatke zahtijevaju: prognozu potražnje, ugovoreno vrijeme ciklusa nadopune, standardnu pogrešku prognoze, pretpostavljeno vremensko kašnjenje. Bez obzira na vremensku perspektivu, potrebni su podaci o usvojenoj razini korisničke usluge, primijenjenom sustavu nadopunjavanja zaliha i raspoloživom budžetu. Sigurnosne zalihe mogu se promijeniti s fluktuacijama u potražnji i vremenu isporuke. Izračunava se na sljedeći način:

$$S_S = \omega(PSL) \times \sigma_{DT}$$

gdje:

S_S – sigurnosna zaliha,

$\omega(PSL)$ – faktor sigurnosti ovisno o razini korisničke usluge i vrsti distribucije koji opisuje varijabilnost potražnje u ciklusu nadopune; normalna distribucija najčešće se pretpostavlja u literaturi i praktičnim primjenama i očitava se iz statističkih tablica za određenu razinu POP-a,



σ_{DT} – standardna devijacija potražnje u ciklusu nadopune, izračunava se iz formule:

$$\sigma_{PT} = \sqrt{\sigma_T^2 \cdot D^2 + \sigma_P^2 \cdot T}$$

gdje:

σ_P – odstupanje potražnje,

σ_T – odstupanje vremena ciklusa nadopunjavanja,

D – prosječna potražnja,

T – vrijeme ciklusa nadopunjavanja.



Formula koja se koristi u Excelu:

$S_s = [\text{faktor sigurnosti}] * [\text{standardna devijacija potražnje u ciklusu nadopunjavanja}]$

- **Informacijska zaliha** koristi se u sustavima: obnavljanje zaliha na temelju razine informacija, min–max, periodično s određenom razinom informacija i fiksnim količinama isporuke, periodično s određenom informacijom i maksimalnom razinom i varijabilnim količinama isporuke. Informatička zaliha izračunava se pomoću formule:

$$S_I = D \times T + S_s$$

gdje:

S_I – informatička zaliha,

D – prosječna potražnja u usvojenoj vremenskoj jedinici (npr. dan, tjedan),

T – vrijeme ciklusa obnavljanja zaliha,

S_s – sigurnosna zaliha.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$S_I = [\text{prosječna potražnja}] * [\text{vrijeme ciklusa obnavljanja zaliha}] + [\text{sigurnosna zaliha}] = [\text{PROSJEK}([\text{raspon ćelija}])] * [\text{vrijeme ciklusa obnavljanja zaliha}] + [\text{sigurnosna zaliha}]$$

- **minimalna zaliha** koristi se u takozvanom sustavu obnavljanja zaliha, min–max, obnavlja se u sustavu kada njegova razina padne ispod naznačene minimalne vrijednosti, uvijek se obnavlja do naznačene maksimalne razine zaliha. Minimalna zaliha se izračunava pomoću formule:

$$S_{MIN} = p_{MAKS} \times T_d$$

gdje:

S_{MIN} – minimalna zaliha,

p_{MAX} – najveća planirana potrošnja,

T_d – vrijeme isporuke.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$Z_{MIN} = [\text{maksimalna planirana potrošnja}] * [\text{vrijeme isporuke}]$$

- **maksimalne zalihe** koriste se u sustavima obnavljanja zaliha: na temelju periodičnog pregleda, min–max, periodički s određenim informacijama i maksimalnom razinom te varijabilnim količinama isporuke. Maksimalna zaliha se izračunava pomoću formule:

$$S_{MAX} = D \times (T + T_o) + S_s$$

gdje:

S_{MAKS} – maksimalne zalihe,

D – prosječna potražnja po jedinici vremena (npr. dan, tjedan),

T – vrijeme ciklusa nadopune,

T_o – vrijeme redovnog ciklusa pregleda,

S_s – sigurnosna zaliha.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$\begin{aligned} S_{\text{MAX}} &= [\text{prosječna potražnja}] * ([\text{vrijeme ciklusa nadopune}] \\ &\quad + [\text{vrijeme redovnog ciklusa inspekcije}] + [\text{sigurnosna} \\ &\quad \quad \quad \text{zaliha}] = \\ &= [\text{PROSJEK}([\text{raspon ćelija}]) * ([\text{vrijeme ciklusa} \\ &\quad \text{nadopunjavanja}] + [\text{vrijeme redovnog ciklusa inspekcije}] \\ &\quad + [\text{sigurnosna zaliha}] \end{aligned}$$

- **slobodne zalihe** ili dostupne zalihe su zalihe koje su trenutno ili u doglednoj budućnosti dostupne za puštanje u promet kupcima (eksternim ili internim); uzimaju se u obzir zalihe koje su naručene od dobavljača, ali još nisu isporučene, ali će biti isporučene u dogledno vrijeme i povećat će razinu zaliha; roba koju je kupio vanjski kupac ili rezervirao interni kupac, ali još nije fizički izašla iz skladišta, neće biti uključena u raspoloživu zalihu. Besplatne zalihe izračunavaju se na sljedeći način:

$$S_F = S_W + S_O - S_R$$

gdje:

S_F – slobodne zalihe,

S_W – zaliha u skladištu,

S_O – zaliha naručena, ali nije isporučena,

S_R – zaliha rezervirana ali nije puštena iz zalihe.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$S_F = [\text{zaliha u skladištu}] + [\text{zaliha naručena}] - [\text{zaliha rezervirana}]$$

Zalihe prema kriteriju uzroka nastanka su sljedeće:

- **zalihe** nedovršene proizvodnje su materijali i poluproizvodi u proizvodnom prostoru i zalihe u putu, vrednuju se prema trošku proizvodnje koji, sukladno Zakonu o računovodstvu, uključuje troškove izravno vezane uz određeni proizvod i opravdani dio troškova neizravno povezan s proizvodnjom proizvoda,



- **sezonska zaliha** se stvara radi zadovoljenja potražnje tijekom cijele godine, ali se proizvodi samo sezonski (poljoprivredni proizvodi, voće), namjerno se stvara, a proizlazi iz razlike između količine prodaje i količine proizvodnje u određenom razdoblju,
- **promotivne zalihe** održavaju se tijekom marketinške promocije i stvaraju prije datuma promocije, to je zaliha koji se održava kako bi logistički sustav mogao brzo odgovoriti na marketinšku ili cjenovnu promociju,
- **špekulativne dionice** stvaraju se u očekivanju povećanja cijena, promjena tečaja ili promjena u društveno-političkoj dimenziji.

9.4. Osnovni sustavi nadopune

Osnovni modeli nadopunjavanja zaliha u logistici obuhvaćaju nekoliko često korištenih sustava koji pomažu organizacijama u upravljanju razinama zaliha kako bi se smanjili troškovi i osigurala dostupnost proizvoda. To uključuje:

- ROP (engl. *Reorder Point*) sustav s informacijama zaliha – narudžbe se postavljaju kada razine zaliha dosegnu unaprijed određenu točku (točka ponovne narudžbe), čime se osigurava da se proizvodi nadopune prije nego što ponestane, čime se smanjuje rizik od nestašica zaliha,
- ROC (engl. *Reorder Cycle*) sustav s maksimalnim zalihama – narudžbe se vrše u zadanim intervalima, a njihova količina uzima u obzir trenutnu razinu zaliha, s ciljem nadopunjavanja do maksimalne razine,
- JIT (engl. *Just-in-time*) sustav – zalihe se nadopunjuju samo prema potrebi, često radi smanjenja troškova skladištenja. Ovaj se sustav koristi u proizvodnim okruženjima koja imaju za cilj minimizirati zalihe,
- Kanban sustav – narudžbe se pokreću fizičkim signalima (kao što su kartice), osiguravajući kontinuirani protok materijala, ovaj model pruža fleksibilnost u nadopunjavanju zaliha kako se potražnja mijenja,
- EOQ (engl. *Economic Order Quantity*) sustav – određuje ekonomsku količinu narudžbe kako bi se smanjili troškovi naručivanja i držanja, obično se koristi u stabilnim okruženjima gdje je potražnja predvidljiva,



- MRP (engl. *Material Requirements Planning*) sustav se koristi za planiranje materijalnih potreba na temelju predviđene potražnje i rasporeda proizvodnje.

Gore navedeni modeli koriste se ovisno o potrebama i operativnim karakteristikama poduzeća. Svaki ima svoje prednosti i odabire se na temelju čimbenika kao što su varijabilnost potražnje, troškovi držanja zaliha i složenost opskrbnog lanca. Zbog svoje raširenosti, opisani su osnovni sustavi nadopunjavanja zaliha: ROP i ROC.

Sustav **ROP (Reorder Point)** odnosi se na donošenje odluka o naručivanju na temelju dostupne razine zaliha: ako zalihe padnu ispod razine zaliha informacija, pokreće se narudžba. Točka ponovne narudžbe definirana je kao razina zaliha na kojoj se mora postaviti narudžba kako bi se spriječilo da zaliha nestane prije nego što stigne sljedeća isporuka. Sigurnosne zalihe dodane su kako bi se smanjio rizik od zaliha. Ovaj sustav se najčešće koristi za artikle zaliha razvrstane u skupine A i B, prema ABC klasifikaciji, zbog najmanjih zaliha koje stvara u skladištu (Cyplik, 2005). Točka ponovnog naručivanja izračunava se prema formuli:

$$ROP = D \times T + Z_S$$

gdje:

ROP – točka ponovnog naručivanja,

D – prosječna potražnja u usvojenoj jedinici vremena (npr. dan, tjedan),

T – vrijeme ciklusa nadopunjavanja,

Z_S – sigurnosni zaliha.

ROP sustav je učinkovit u okruženjima gdje je potražnja relativno stabilna, a ciklus nadopunjavanja zaliha dobro definiran. Pomaže minimizirati rizik od nestašice dok održava optimalnu razinu zaliha. Osnovna pravila za korištenje ROP sustava su sljedeća:

- **definirati točku ponovnog naručivanja**, što je razina zaliha na kojoj se pokreće nova narudžba; trebao bi uzeti u obzir očekivanu potražnju i sigurnosnu zalihu tijekom vremena isporuke,
- pretpostavlja se da se održavaju **sigurnosne zalihe** kako bi se spriječile nestašice u slučaju iznenadnih skokova potražnje ili kašnjenja u isporukama,
- **redovito praćenje razine zaliha** kako bi se proces naručivanja započeo u pravo vrijeme,



- prekoračenje ili pad ispod točke ponovne narudžbe ukazuje na potrebu **postavljanja nove narudžbe** kako bi se održao kontinuitet opskrbe i izbjegli prekidi proizvodnje ili distribucije,
- oslanja se na **predviđanje potražnje**, stoga je bitno koristiti pouzdane povijesne podatke i predviđanja za određivanje prosječne potražnje i procjenu varijabilnosti kako bi se točno odredila točka ponovnog naručivanja.

ROC (**Reorder Cycle**) sustav uključuje postavljanje narudžbi unutar određenog ciklusa s fiksnim periodom pregleda. Količina narudžbe je varijabilna i proizlazi iz razlike između maksimalne razine zaliha i trenutno raspoloživih zaliha. Veličina narudžbe određena je metodom lot-za-lot kako bi se pokrila potražnja cijelog ciklusa. Maksimalna razina zaliha postavlja se na temelju očekivane potražnje tijekom ciklusa, uzimajući u obzir sigurnosnu zalihu. Ciklus narudžbe je unaprijed definiran, što omogućuje redovite isporuke, ali može zahtijevati veće sigurnosne zalihe zbog rizika povezanog s neredovitom potražnjom. Ovaj sustav je primjenjiv za zalihe razvrstane u skupinu C, prema ABC klasifikaciji (Cyplik, 2005). Veličina narudžbe u ROC sustavu izračunava se pomoću formule:

$$Q = S_{MAX} - S_F$$

gdje:

Q – veličina narudžbe,

S_{MAX} – maksimalne zalihe,

S_F – slobodne zalihe (trenutno).

ROC sustav prikladan je za okruženja s fiksnim rasporedom isporuke, gdje se potražnja može predvidjeti tijekom razdoblja ciklusa. Omogućuje stabilnost u upravljanju zalihama i može se primijeniti u situacijama gdje je redovitost narudžbi prioritet. Osnovna pravila za korištenje ROC sustava su sljedeća:

- temelji se na slanju **narudžbi u redovitim, unaprijed određenim intervalima** (ciklusima), pri postavljanju ciklusa narudžbi, uzmite u obzir potražnju i vrijeme nadopune kako biste osigurali odgovarajuću učestalost narudžbi,



- maksimalna **razina zaliha**, koja služi kao cilj za svaku narudžbu, maksimalna razina zaliha treba uzeti u obzir očekivanu potražnju tijekom ciklusa i sigurnosnu zalihi,
- narudžbe se postavljaju u **redovitim ciklusima**, ali **količina narudžbe može biti fleksibilna**, prilagođavajući se trenutnim razinama zaliha i očekivanoj potražnji, dopuštajući reakciju na promjene potražnje bez mijenjanja rasporeda narudžbi,
- **redovito praćenje** razina zaliha ključno je kako bi se osiguralo da su ciklusi narudžbi i količine odgovarajuće prilagođeni promjenjivoj potražnji i dostupnosti ponude.

9.5. Troškovi zaliha

Troškovi zaliha važan su čimbenik u upravljanju proizvodnim kapacitetom i zaliham. Držanje zaliha povezuje kapital i stvara troškove vezane uz naručivanje, skladištenje i potencijalne nestašice. Poduzeća moraju pažljivo planirati razine zaliha kako bi smanjili te troškove i optimizirali ukupnu izvedbu opskrbnog lanca (Song i dr., 2020).

Pojam troškova ima različite aspekte, au literaturi se mogu pronaći brojne definicije. Općenito, **troškovi** su ekonomska kategorija koja ih opisuje kao potrošnju specifičnih resursa za proizvodnju predmeta ili pružanje usluge. Troškove karakteriziraju sljedeće značajke (Matusiak, 2022):

- vrijednosno prikazati potrošnju faktora proizvodnje,
- nastale za određenu svrhu,
- mogu se pripisati točno određenim razdobljima,
- moguće je usporediti troškove s prihodima,
- integrirani su s normalnim poslovanjem tvrtke.

Troškovi zaliha proizlaze iz potrebe korištenja financijskih sredstava u različitim fazama njihove akumulacije i skladištenja. Oni uključuju troškove koji se odnose na cijeli životni



ciklus zaliha, počevši od kupnje sirovina, preko njihovog skladištenja, do procesa proizvodnje i distribucije (Śliwczyński, 2008).

Troškovi koji nastaju u poduzeću i opskrbnom lancu povezani sa zalihamo mogu se podijeliti u tri kategorije (Skowronek i Sarjusz -Wolski, 2012):

- troškovi dopune zaliha,
- troškovi držanja zaliha,
- troškovi manjka.

Proces generiranja troškova vezanih uz zalihe započinje svjesnim koracima odabira dobavljača i pripreme narudžbenice, a završava primitkom materijala ili proizvoda u resurse tvrtke. U kontekstu skladišne djelatnosti, to je radnja evidentiranja primitka robe i izdavanja odgovarajuće skladišne isprave, koja se naziva vanjska isprava o primitku.

Troškove dopune zaliha možemo podijeliti na troškove narudžbe i troškove transporta. U **troškovima naručivanja** mogu se razlikovati sljedeće komponente (Krzyszaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2008):

- fiksni troškovi – troškovi naknada u odjelima nabave ili nabave, troškovi infrastrukture (prostorije, oprema, informatički sustavi), fiksni troškovi ICT veza, pretplate za korištenje platformi za nabavu, fiksni troškovi softverskih licenci koje koriste odjeli nabave ili nabave,
- varijabilni troškovi – varijabilni troškovi korištenja shopping platformi, varijabilne komponente telefonskih troškova, prekovremeni troškovi. Formula za izračun varijabilnih troškova nadopunjavanja:

$$VRC = n_d \times c_d$$

gdje:

VRC – varijabilni troškovi nadopunjavanja,

n_d – broj isporuka u razmatranom razdoblju,

c_d – trošak povezan s jednom isporukom.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$\text{VRC} = [\text{broj isporuka}] * [\text{trošak isporuke}]$$

Najveća komponenta troškova nadopunjavanja zaliha su **troškovi transporta**. U njemu se mogu izdvojiti sljedeće komponente (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2008):

- fiksni troškovi – za vlastiti transport to su troškovi amortizacije i osiguranja vozila, troškovi naknade vozaču, troškovi tehničkog pregleda vozila; za vanjski transport, to su troškovi naknade zaposlenika koji naručuju i nadziru pružanje usluga transporta,
- varijabilni troškovi – za vlastiti transport to su troškovi goriva i rada vozila, troškovi vožnje na dionicama cesta s naplatom cestarine, troškovi osiguranja, dodaci i troškovi prekovremenog rada vozača; kod vanjskog transporta to su troškovi transporta davatelja usluga i troškovi osiguranja.

Troškovi držanja zaliha su troškovi povezani s posjedovanjem i skladištenjem robe u skladištu ili drugim skladišnim mjestima. Fizički su registrirani u poduzeću od trenutka preuzimanja materijala, robe i proizvoda u popis i izdavanja PZ dokumenta. Troškovi održavanja zaliha uključuju troškove skladištenja i troškove umanjenja vrijednosti. U **troškovima skladištenja** mogu se razlikovati sljedeće komponente (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2007):

- fiksni troškovi – za vlastito skladište to su troškovi amortizacije zgrada i skladišne opreme, troškovi pogonskih zgrada i skladišne opreme, troškovi osiguranja skladišne infrastrukture, troškovi naknada skladišnim radnicima (stalni); za vanjsko skladište, to su troškovi naknade zaposlenika koji puštaju u rad i nadziru pružanje skladišnih usluga od strane logističkog operatera,
- varijabilni troškovi – za vlastito skladište to su troškovi zamrznutog kapitala, troškovi naknada sezonskih radnika, troškovi energije (rasvjeta, hlađenje, napajanje viličara); za vanjsko skladište to su troškovi skladištenja izračunati na



temelju broja uskladištenih paleta, vremena skladištenja i cjenika operatera.
Formula za izračun varijabilnih troškova držanja zaliha:

$$VHC = \mu_0 \times S \times P$$

gdje:

VHC – varijabilni troškovi držanja zaliha,

μ_0 – periodični koeficijent troškova držanja zaliha,

S – zaliha u kvantitativnom smislu,

P – nabavna cijena; u slučaju proizvodnje, to je ukupni trošak proizvodnje jedinice zaliha.



Formula koja se koristi u Excelu:

$$VHC = [\text{periodični koeficijent troškova držanja zaliha}] * [\text{zaliha}] * [\text{nabavna cijena}]$$

Faktor troškova održavanja zaliha μ_0 pokazuje koji se postotak prosječne vrijednosti zaliha prevodi u troškove održavanja. Može se izračunati kao omjer troškova držanja zaliha i prosječne vrijednosti zaliha. Vrijednost koeficijenta μ_0 može varirati u širokom rasponu (od 0,05 do 0,20) i ovisi o uvjetima skladištenja zaliha, načelima njenog financiranja i vrsti uskladištene robe (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).

Troškovi skladištenja su relativno fiksni, u velikoj mjeri neovisni o veličini i prometu skladišta zbog stalne zaposlenosti i skladišne infrastrukture, a ovise uglavnom o razdoblju skladištenja zaliha.

Troškovi kapitala zamrznutog u zalihama su financijski troškovi koji proizlaze iz zamrzavanja kapitala. Oni ovise o veličini tog kapitala (vrijednost zaliha) i vremenu zamrzavanja (vrijeme održavanja zaliha). Troškovi zamrzavanja kapitala u zalihama su hipotetski troškovi i predstavljaju alternativne troškove koje poduzeće ima neproduktivnim zamrzavanjem kapitala u zalihama, umjesto npr. stavljanja kapitala u banku (kao depozit).



Troškovi gubitka vrijednosti imaju samo varijabilni dio. Među njima se mogu razlikovati sljedeće kategorije troškova (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2007):

- Troškovi gubitka vrijednosti uzrokovani su promjenom njihove cijene na tržištu, nastaju kao posljedica obezvrjeđivanja zaliha, odnosno gubitka trenutne vrijednosti kao posljedica starenja: fizički – kao posljedica gubitka funkcionalnih svojstava i promjena fizikalno-kemijskih svojstava uzrokovanih dugotrajnim skladištenjem; ili ekonomski (moralni) – kao posljedica promjena modnih trendova i novih dizajna tržišta, preferencija kupaca i brzog znanstveno-tehnološkog napretka,
- troškove zbrinjavanja ako roba na zalihama ima ograničeni rok trajanja ili rok trajanja,
- troškovi štete, krađe i sl.

Troškovi zaliha odražavaju izgubljene koristi, posebice dobiti koju je tvrtka mogla ostvariti da je imala zalihe na pravom mjestu, u pravom vremenu, količini i asortimanu. Nedostatak zaliha dovodi do poremećaja u proizvodnji, što tjera na reorganizaciju proizvodnog plana za ostale proizvode za koje ima sirovina, kao i potrebe za preslagivanjem proizvodnih strojeva, što dovodi do privremenih zastoja, a često i prekovremenog rada ili slobodnih dana. U kontekstu izvršenja ugovora, nedostatak zaliha može dovesti do potrebe za plaćanjem ugovornih kazni za neisporuku robe. Ipak, najozbiljniji učinak je gubitak ugleda poduzeća i njegove konkurentske pozicije na tržištu, što je rezultat nedostupnosti proizvoda u skladu s očekivanjima kupaca (Śliwczyński, 2008). Formula za izračun troškova zaliha:

$$SOC = FSOC + VSOC = C_{SO} \times p(SO) \times N_R + N_{SO} \times C_{SO}$$

gdje:

SOC – troškovi nedostatka zaliha,

$FSOC$ – fiksni troškovi nedostatka zaliha,

$VSOC$ – varijabilni troškovi nedostatka zaliha,

C_{SO} – trošak nastao zbog nedostatka zaliha,

$p(SO)$ – vjerojatnost nestanka zaliha u određenom ciklusu nadopunjavanja zaliha,

N_R – broj ciklusa nadopunjavanja zaliha u promatranom razdoblju,



N_{SO} – prosječan (očekivani) broj zaliha u promatranom razdoblju,

C_{SO} – trošak nastao u slučaju nestanka zaliha jedne jedinice.



Formula koja se koristi u Excelu:

**SOC = [fiksni troškovi nedostatka zaliha] + [varijabilni troškovi
nedostatka zaliha]**

**SOC = [trošak nastao zbog nestašice] * [vjerojatnost nestašice] *
[broj ciklusa nadopunjavanja zaliha] + [prosječan broj nestašice]
* [jedinički trošak nestašice]**

Troškovi izgubljene koristi u svom fiksnom dijelu odnose se na procijenjenu vrijednost izgubljene marže nakon prekida suradnje s klijentom (ukoliko je do prekida suradnje s klijentom došlo zbog nedostatka zaliha). U varijabilnom dijelu, to je vrijednost izgubljene marže uzrokovane neisporukom određenog broja artikala koje je kupac naručio (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).

Ugovorne kazne u fiksnom dijelu uključuju trošak hitne nabave, trošak zastoja proizvodnog sustava, te penale ovisno o činjenici neizvršenja isporuke (bez obzira na broj neisporučenih jedinica). Varijabilni dio sastoji se od kazni ovisno o broju artikala koji nisu isporučeni u skladu sa specifikacijama narudžbe (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).

Osim toga, mogu postojati i **troškovi viška zaliha** povezani s prekoračenjem određene razine zaliha. Fiksni troškovi viška zaliha mogu biti rezultat, na primjer, potrebe za iznajmljivanjem dodatnog skladišta. Varijabilni troškovi ovise o iznosu viška i povezani su s (Krzyżaniak i Cyplik, 2008):

- troškove najma dodatnog skladišnog prostora od logističkog operatera,
- ugovorne kazne za zadržavanje transportnih sredstava (npr. željezničkih cisterni),
- troškovi koji proizlaze iz povećanog rizika od isteka zaliha.



Ukratko, kontrola troškova povezanih sa zalihama važna je za učinkovito upravljanje proizvodnjom i razinama zaliha. Primjenom odgovarajućih metoda upravljanja zalihama, tvrtke mogu smanjiti operativne troškove i povećati učinkovitost cijelog opskrbnog lanca (Song i dr., 2020).

9.6. Osnovni modeli klasifikacije zaliha

ABC analiza temelji se na pravilu poznatom u ekonomiji kao "80-20" koje je formulirao talijanski ekonomist Vilfredo Pareto. Prema njegovim glavnim pretpostavkama, otprilike 20% elemenata određuje učinke određenog pitanja u 80% – to je klasična podjela. Paretovo načelo važna je pomoć pri odlučivanju za klasifikaciju fizičkih dobara. Korištenje ABC analize, u klasičnom pristupu, sve artikle asortimana dijeli u tri klase (A, B i C) pri čemu se kao kriterij ove podjele uzima udio pojedinog asortimana u ukupnoj vrijednosti prodaje (Pandya i Thakkar, 2016; Tanwari i dr., 2000). Postupak podjele stavki proizvoda prema ABC analizi temelji se na jasnom kriteriju klasifikacije, a to je određeni postotak vrijednosti prometa (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).



ABC metoda uključuje sljedeće korake (Cyplik i Hadaś, 2012) :

- [1] Izračun godišnje vrijednosti potrošnje svake stavke proizvoda,
- [2] Razvrstavanje vrijednosti potrošnje silaznim redoslijedom,
- [3] Zbrajanje vrijednosti svih stavki,
- [4] Izračun udjela potrošne vrijednosti svakog artikla u ukupnoj potrošnoj vrijednosti,,
- [5] Izračun akumuliranih postotaka,
- [6] Određivanje podjele na skupine A, B i C.



Formula koja se koristi u Excelu:

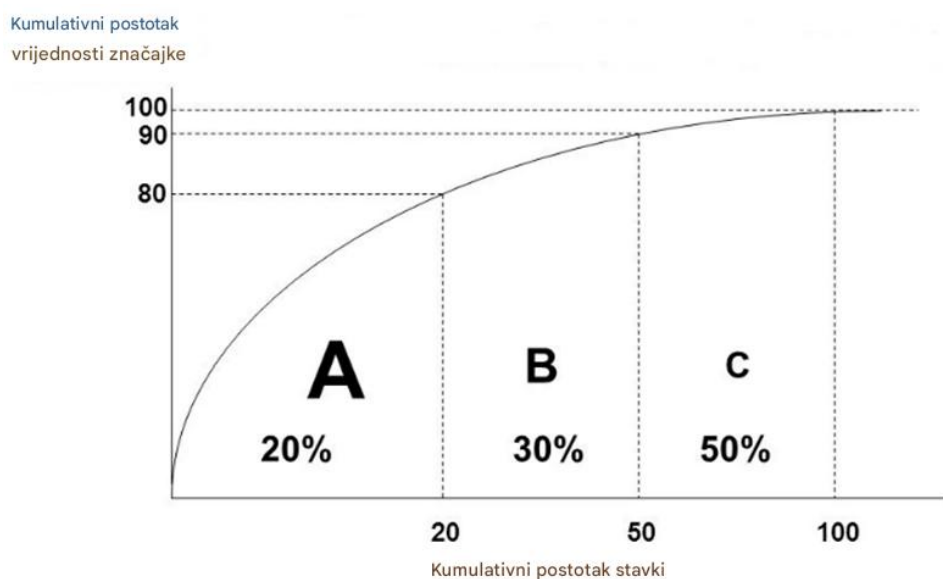
- [1] Izračunajte [potrošna vrijednost asortimana] = [nabavna cijena]*[potrošna količina]
- [2] Poredaj silazno za [vrijednost potrošnje proizvoda]



- [3] Zbroji cijeli stupac [vrijednost potrošnje proizvoda] pomoću $\text{SUM}([\text{vrijednost potrošnje proizvoda}])$
- [4] Izračunajte [udio] svake stavke kao $[\text{vrijednost potrošnje zaliha}]/\text{SUM}([\text{vrijednost potrošnje zaliha}])$
- [5] Izračunajte kumulativni postotak za svaki asortiman kao $[\text{kumulativni postotak stavke } n+1]=[\text{kumulativni postotak stavke } n]+[\text{kumulativni postotak stavke } n+1]$
- [6] Asortiman dodijelite grupama A, B, C pomoću funkcije: $=\text{IF}([\text{kumulativni udio stavka } 1]<80\%;\text{"A"}; \text{IF}([\text{kumulativni udio stavka } 1]<95\%;\text{"B"};\text{"C"}))$

U ABC analizi proizvodi klasificirani kao A najvrjedniji su i zahtijevaju posebnu pozornost i česte recenzije. Proizvodi skupine B zahtijevaju umjerenu kontrolu, proizvodi skupine C su najmanje vrijedni i njima se može upravljati jednostavnijim postupcima.

Izdvajanje 80% vrijednosti potrošnje određuje artikle koji ulaze u skupinu A, u kojoj će biti približno 20% artikala. To su materijali koji čine najveći udio u prodaji i općenito ih je malo. Sljedećih 15% vrijednosti potrošnje odredit će artikle koji se kvalificiraju za skupinu B. Preostali artikli će činiti skupinu C – najbrojniju. Ovaj asortiman samo malim dijelom doprinosi ukupnoj vrijednosti prodaje (Cyplik i Hadaš, 2012; Chu i dr., 2008). Međutim, treba napomenuti da je takva podjela konvencionalna i da se, ovisno o radnim uvjetima i dobivenim rezultatima, usvajaju različite granice za odvajanje grupa proizvoda. Klasičan oblik količinsko-vrijednih odnosa koji je u skladu s Paretovim načelom prikazan je na slici 9.3.



Slika 9. 3. Krivulja ABC analize

Izvor: vlastita studija

XYZ analiza ima za cilj procijeniti fluktuacije u potražnji ili potrošnji asortimana (Pandya i Thakkar, 2016). Usredotočuje se na kvantitativno kretanje dijela zaliha (Aldulaime i Emar, 2020). XYZ analiza provodi se na zalihama, koje mogu značajno varirati u svakom mjesecu za koji se analiza provodi jer na rezultate mogu utjecati različiti vanjski čimbenici poput izgubljenih ili odgođenih prodajnih narudžbi i isporuka (Dhoka i Choudary, 2013).

Osnova za podjelu prema XYZ klasifikaciji je priroda potrošnje – prodaje (Cyplik i Hadaś, 2012) :

- artikli koji se koriste u velikim količinama, masovnog karaktera – skupina X,
- artikli srednje potrošnje (količinski) – skupina Y,
- za artikle koji se koriste samo povremeno, pojedinačno – skupina Z.

Podjela na skupine XYZ također je povezana s kriterijem redovitosti potražnje i točnosti predviđanja. Prema ovom mišljenju (Krzyżaniak i Cyplik, 2008) :

- skupina X uključuje artikle koji se konzumiraju u velikim količinama, a karakterizira ih redovita potražnja, s malim fluktuacijama, s visokom točnošću predviđanja,



- skupina Y su artikli s nižom kvantitativnom potražnjom, sa sezonskim fluktuacijama potražnje ili pokazuju jasan trend potražnje, za koje su prognoze prosječne točnosti,
- skupina Z uključuje stavke koje se sporo kreću s neredovitom potražnjom i niskom točnošću predviđanja potražnje.



Za XYZ analizu, sljedeći su koraci uključeni u izračun (Dhoka i Choudary, 2013):

- [1] Izračunavanje zbroja kvadrata,
- [2] Izračun standardne devijacije,
- [3] Izračun koeficijenta varijacije,
- [4] Uspostavljanje podjele na skupine X, Y i Z



Formula koja se koristi u Excelu:

- [1] Izračun zbroja kvadrata: $\text{=SUM}([raspon\ \acute{c}elija]-\text{AVERAGE}([raspon\ \acute{c}elija])^2)$
- [2] Izračun standardne devijacije: $\text{=STDEV.S}([raspon\ \acute{c}elija])$
- [3] Izračun CV-a kao omjer standardne devijacije i srednje vrijednosti, izražen kao postotak, izračunava se iz formule:
 $\text{=(STDEV.S}([raspon\ \acute{c}elija]) / \text{PROSJEK}([raspon\ \acute{c}elija]))*100$

U analizi XYZ, artikli klasificirani kao X imaju dosljednu, predvidljivu potražnju, što omogućuje lakše planiranje i smanjenje sigurnosnih zaliha. Y artikli su umjereno predvidljivi i zahtijevaju fleksibilniji pristup upravljanju zalihama, dok su Z artikli najmanje predvidljivi i mogu zahtijevati najveće sigurnosne zalihe.



Provođenje kombinirane **ABZ/XYZ analize** omogućuje podjelu razmatranog asortimana u 9 skupina za koje se mogu poduzeti različita rješenja u vezi s održavanjem i obnavljanjem zaliha (Krzyżaniak i Cyplik, 2008). Karakteristike ovih skupina prikazane su u tablici 9.1.

Polje u matrici je kombinacija ABC i XYZ analize. Dodjeljivanje asortimana u dvije dimenzije omogućuje usvajanje dobre strategije upravljanja zalihama i bolju kontrolu nad njima (Pandya i Thakkar, 2016). Na primjer, iz tablice je moguće uočiti:

- potencijal racionalizacije za grupe AX, BX i AY,
- složenost kontrole za grupe AY, AZ i BZ.

Tablica 9. 1. Pristup 9 okvira odnosu ABC-XYZ

	A	B	C
X	Visoka vrijednost prometa robe, visoka točnost prognoze potražnje	Prosječna vrijednost prometa roba, visoka točnost prognoze potražnje	Niska vrijednost prometa roba, visoka točnost prognoze potražnje
Y	Visoka prometna vrijednost proizvod, prosječna točnost prognoze potražnje	Prosječna vrijednost prometa proizvod, prosječna točnost prognoze potražnje	Niska vrijednost prometa proizvod, prosječna točnost prognoze potražnje
Z	Visoka vrijednost prometa robe, nedostatak točnosti prognoze potražnje	Prosječna vrijednost prometa robe, nedostatak točnosti prognoze potražnje	Niska vrijednost prometa roba, nedostatak točnosti prognoze potražnje

Izvor: (Pandya i Thakkar, 2016).

Klasifikacija ABC/XYZ, zajedno s određivanjem vjerojatnosne razine usluge ili potražnje stopa nadopunjavanja potražnje predstavlja ključne temelje za razvoj učinkovitog modela nadopunjavanja zaliha. Ove metode omogućuju identifikaciju i određivanje prioriteta zaliha na temelju njihove vrijednosti i predvidljivosti potražnje, što je bitno za optimizaciju procesa naručivanja i upravljanja skladištem. Posljedično, omogućuju fokusiraniji i učinkovitiji pristup upravljanju zalihama, povećavajući operativnu i financijsku učinkovitost poduzeća.

Za klasificiranje zaliha radi boljeg upravljanja i optimizacije opskrbnih lanaca, osim ABC i XYZ metoda, također se može koristiti sljedeće (Mitra i dr., 2015; Pandya i Thakkar, 2016; Sirisha i Kalyan, 2022):



- HML – klasifikacija na temelju jedinične cijene proizvoda, gdje H (engl. *High*) označava proizvode s visokom jediničnom cijenom, M (engl. *Medium*) sa srednjom, a L (engl. *Low*) s niskom,
- VED – klasifikacija temeljena na kritičnosti proizvoda, gdje V (engl. *Vital*) označava nezamjenjive proizvode, E (engl. *Essential*) važne, a D (engl. *Desirable*) poželjne,
- GOLF – klasifikacija prema učestalosti korištenja i lokaciji, gdje *General* označava opće proizvode, *Occasional* – povremeni, *Local* – lokalni i *Fast-moving* – brzo rotirajući,
- SDE – klasifikacija temeljena na dostupnosti proizvoda, gdje *Scarce* označava rijetke proizvode, *Difficult* teško nabaviti, a *Easy* lako nabaviti,
- FSN – klasifikacija na temelju brzine rotacije, gdje *Fast* označava brzo rotirajuće proizvode, *Slow* sporo rotirajuće, a *Non-moving* nerotirajuće,
- SOS – klasifikacija na temelju cikličnosti potražnje za određenim proizvodom: Sezonski proizvodi imaju veliku potražnju u određenoj sezoni ili vremenskom razdoblju, Izvansezonski – imaju ravnomjernu potražnju tijekom cijele godine ili njihova potražnja raste u razdobljima koja se ne smatraju vrhuncem sezone za kategoriju proizvoda.

PITANJA POGLAVLJA

1. Što je vjerojatnost razine korisničke usluge?
2. Koji su osnovni modeli logističke popune?
3. Koja je glavna pretpostavka Paretovog načela?

LITERATURA

Al-Dulaime, W., & Emar, W. (2020). Analysis of Inventory Management of Laptops Spare Parts by Using XYZ Techniques and EOQ Model–A Case Study. *Journal of Electronic Systems*. 10(1).

Bowersox, D. & Closs, D.J. (1996). *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, NY.



- Bril, J., & Łukasik, Z. (2013). Metody zarządzania zapasami. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 14(3), 59-67.
- Brunaud, B., Laínez-Aguirre, J. M., Pinto, J. M., & Grossmann, I. E. (2019). Inventory policies and safety stock optimization for supply chain planning. *AIChE journal*, 65(1), 99-112.
- Chu, C. W., Liang, G. S., & Liao, C. T. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. *Computers & Industrial Engineering*, 55(4), 841-851.
- Cyplik, P. (2005). Zastosowanie klasycznych metod zarządzania zapasami do optymalizacji zapasów magazynowych–case study. *LogForum*, 1(3), 4.
- Cyplik, P., & Hadaś, Ł. (2012). Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Dhoka, D. K., & Choudary, Y. L. (2013). XYZ inventory classification & challenges. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 2(2), 23-26.
- Fertsch, M. (ed.) (2006). Słownik terminologii logistycznej. ILiM. Poznań.
- Hachuła, P., & Schmeidel, E. (2016). The Model of Demand and Inventory in a Decline Phase of the Product Life Cycle. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 16(1), 208-221.
- Jain, N., & Tan, T. F. (2022). M-commerce, sales concentration, and inventory management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(4), 2256-2273.
- Krzyżaniak, S. (2016). Próba uogólnienia formuły na obliczanie zapasu zabezpieczającego dla klasycznych metod odnawiania zapasu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Organizacja i Zarządzanie*. No. 99, 245-259.
- Krzyżaniak, S., & Cyplik, P. (2008). Zapasy i magazynowanie: podręcznik do kształcenia w zawodzie technik logistyki. T. 1, Zapasy. Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Matusiak, M. (2022). Logistyka zaopatrzenia. Skrypt akademicki. Część 1 Wykład. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Mitra, S., Reddy, M. S., & Prince, K. (2015). Inventory control using FSN analysis—a case study on a manufacturing industry. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(4), 322-325.



Niemczyk, A., Cudziło, M., Kolińska, K., Fajfer, P., Koliński, A., Pawlak, R., Sobótka, J. (2011). Podręcznik dla nauczycieli do laboratorium spedycyjno – logistycznego i magazynowego. T.II. Wyższa Szkoła Logistyki. Poznań 2011.

Pandya, B., & Thakkar, H. (2016). A review on inventory management control techniques: ABC-XYZ analysis. *REST Journal on Emerging trends in Modelling and Manufacturing*, 2(3).

Papiernik-Wojdera, M., & Sikora, S. (2022). Ocena logistycznej obsługi klienta w przedsiębiorstwie Cargonet sp. z o. o. [in] ed. Fajczak-Kowalska A. Problemy i wyzwania współczesnej logistyki. Wydawnictwo Rys. Poznań.

Placencia, I. A., Partida, D. S., Olivos, P. C., & Flores, J. M. (2020). Inventory management practices during COVID 19 pandemic to maintain liquidity increasing customer service level in an industrial products company in Mexico. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(6), 613-626.

Powell Robinson, E. & Satterfield, R.K. (1990). Customer Service: Implications for Distribution System Design. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Mngmnt*, 20(4), 22–30.

Selivanova, N., Bubilich, S., & Popko, Y. (2018). Features of formation of the accounting policy of the enterprise in a part of accounting of manufacturing reserves. *Економіка: реалії часу*, 5(39), 89-96.

Sirisha, T., & Kalyan, D. N. B. (2022). Inventory management pattern of manufacturing sector in India. Available at SSRN 4165201.

Skowronek, Cz., Sarjusz-Wolski, Z. (2012). *Logistyka w przedsiębiorstwie*. PWE. Warszawa.

Śliwczyński, B. (2007). *Controlling w zarządzaniu logistyką: Controlling operacyjny, controlling procesów, controlling zasobów*. Wyższa Szkoła Logistyki.

Śliwczyński, B. (2008). *Planowanie logistyczne: podręcznik do kształcenia w zawodzie technik logistyk*. Instytut Logistyki i Magazynowania.

Song, J. S., Van Houtum, G. J., & Van Mieghem, J. A. (2020). Capacity and inventory management: Review, trends, and projections. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 36-46.



Strojny, S. (2008). Przesłanki standaryzacji interpersonalnej obsługi klienta. LogForum, 4(1), 1-8.

Tanwari, A., Lakhiar, A. Q., & Shaikh, G. Y. (2000). ABC analysis as a inventory control technique. Quaid-E-Awam University research journal of engineering, science and technology, 1(1).

Wild, T. (2017). Best practice in inventory management. Routledge.



10. OPTIMIZACIJA TRANSPORTA



Ovo poglavlje posvećeno je najvažnijim pitanjima vezanim uz optimizaciju transporta. Uključuje:

- osnovne definicije transportnog sustava,
- prirodu i važnost optimizacije transportnog sustava,
- opis primjene transportne problematike u praksi.

10.1. Uvod

U fazi distribucije dominantnu ulogu imaju procesi transporta i špedicije. Važno je napomenuti da njihov sve veći značaj generira potrebu za inovacijama u organizaciji kretanja tereta korištenjem odgovarajuće odabranih transportnih sredstava i načina transporta (Krawczyk, 2001). Stoga se traže metode i alati koji će dati precizne odgovore na ključna pitanja vezana uz procese transporta i špedicije. Netko se može zapitati jesu li potrebne promjene i, ako jesu, kakvi će to rezultirati financijskim rezultatima? Izazov, ali i potreba suvremenog poduzeća je spojiti ekonomske koristi održavanja visoke kvalitete usluge kupcima sa smanjenjem troškova transporta, što je također funkcija usluge kupcima. Pritom pitanje minimiziranja troškova poprima stratešku dimenziju (Christopher, 2000).

Transport spada u područje proizvodnje materijalnih usluga, obavlja transport ljudi i robe, osigurava distribuciju i opskrbu sirovinama i proizvodima industrije i poljoprivrede svih regija svijeta. Glavna zadaća transporta je potpuno i pravodobno zadovoljiti prometne potrebe nacionalnog gospodarstva i stanovništva, povećati učinkovitost i kvalitetu transportne mreže. S obzirom na vodeću ulogu transporta u tržišnom gospodarstvu, upravljanje transporta izdvojeno je u zasebno područje koje se naziva transportna logistika. Transportna logistika uključuje niz elemenata, a glavni su (Yahiaoui, 2019; Vakulenko i Evreenova, 2019):

- tereti,
- konsolidacijske stanice,
- transportna čvorišta (hubovi),



- transportna mreža,
- vozni park,
- oprema za rukovanje,
- sudionici logističkog procesa,
- transportni kontejneri,
- pakiranje.

Glavne rezerve za unapređenje transportno-logističkog procesa leže u racionalnoj organizaciji međudjelovanja sudionika u opskrbnom lancu, koordinaciji njihovih interesa i traženju obostrano korisnih i odgovarajućih rješenja. Napredak u informacijskoj tehnologiji može značajno poboljšati učinkovitost transportne logistike, a informacija i informatička podrška imaju zaslužno mjesto među ključnim logističkim funkcijama (Liu, Zhang i Wang, 2018; Sun, i dr., 2019).

Napredak informacijske tehnologije pridonio je povećanju učinkovitosti transporta. Korištenjem najnovije informacijske tehnologije moguće je automatizirati sve informatičke aktivnosti transportničkih tvrtki koje su uključene u procese organizacije teretnog transporta. Automatizacija transportne logistike omogućuje povećanu učinkovitost i optimizaciju transporta. Uvođenjem automatiziranih sustava za rutiranje, naplatu i planiranje u transportnim poduzećima, transportna logistika doseže novu razinu (Dekhtyaruk, i dr. 2021).

10.2. Priroda i značaj optimizacije prometnog sustava

Istraživanje i rad na optimizaciji prometnog sustava povezan je s važnim pitanjima prometne politike, igrajući važnu ulogu u razvoju teorije ekonomije prometa. Razvoj optimizacijskog rada i istraživanja potiče gospodarska praksa prometa, ukazujući na najrelevantnija pitanja koja treba riješiti, kao i određujući opseg i smjerove metodoloških istraživanja. S druge strane, tema optimizacije prometnog sustava inspirirala je istraživače da implementiraju dostignuća teorije sustava i kibernetike za rješavanje ekonomskih prometnih problema. To je pridonijelo povoljnom razvoju u pogledu metodologije znanstvenog istraživanja, kao i poticanje interesa za aspekte transportne ekonomije metodološke prirode (De Maio i Vitetta, 2015).

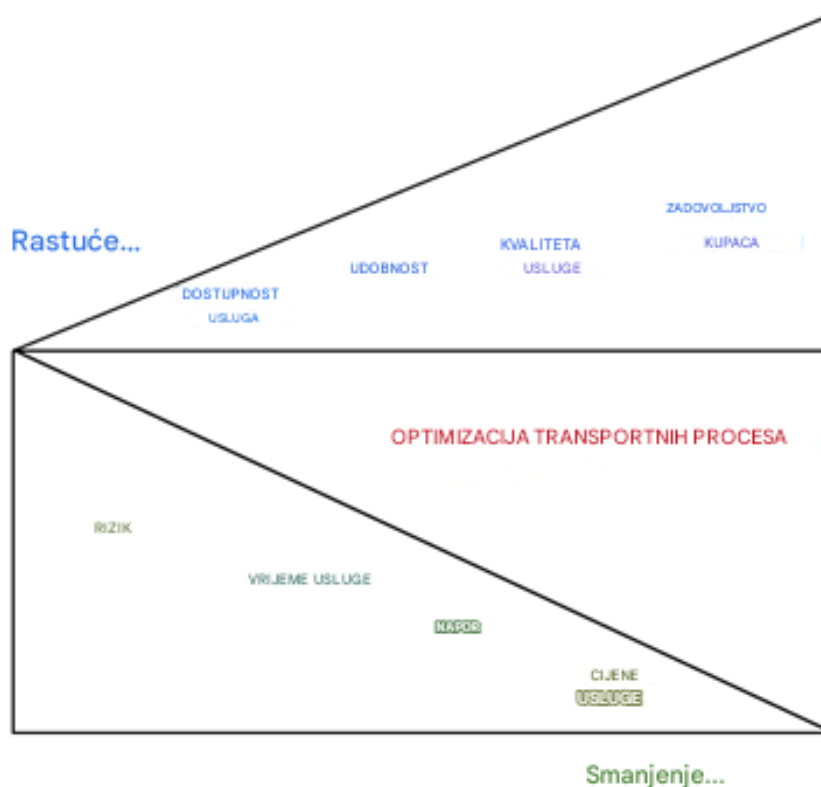


optimalnim prometnim sustavom podrazumijeva se sustav koji u potpunosti i pravilno osigurava uslugu postojećih prometnih potreba (volumen, vrste, prostorna disperzija) uz najmanji utrošak društvenog rada, uz racionalno korištenje svojstava i karakteristika (tehničkih, operativnih i ekonomskih) pojedinih oblika prometa. Idejom ove definicije prihvaćene u literaturi, pitanje optimizacije prometnog sustava svodi se na cjelovito i pravilno servisiranje prometnih potreba uz kriterij minimiziranja društvenog inputa rada (Wong, i dr., 2016).

Optimizacija u transportu vrlo je širok pojam koji obuhvaća različite procese. Njihov cilj je poboljšati položaj strana uključenih u transport (pošiljatelja, primatelja, zaposlenika). Najčešće se u literaturi mogu naći aspekti koji se odnose na optimizaciju i špediciju. Obično se radi o smanjenju troškova transporta i dostave. Međutim, u praksi se radi o višekriterijskim pitanjima. Relevantni su i manje uobičajeni kriteriji, među kojima se mogu spomenuti udobnost, ekologija, kvaliteta transportnih usluga, zadovoljstvo korisnika, pa čak i istrošenost cesta. Trošak i vrijeme su, međutim, dominantni faktori. Logističke procese treba promatrati iz strateške, ali i operativne perspektive. Strateška perspektiva odnosi se na dugoročno planiranje i osmišljavanje vizije poduzeća. Operativna perspektiva bavi se trenutnom situacijom. Ovi aspekti optimizacije trebali bi biti povezani jedan s drugim, kao i podržani od strane različitih sustava upravljanja logistikom. Tema optimizacije transporta, čak i ako je ograničena na minimiziranje troškova, uključuje čitav niz aktivnosti koje se tiču cjelokupnog opskrbnog lanca. Najvažnije je stvaranje učinkovite distribucijske mreže, koja se tiče identifikacije lokacije kupaca i njihovih potreba, koje se potencijalno mijenjaju tijekom vremena, te optimalne lokacije distribucijskih centara, distribucijskih terminala i skladišta. Također je važno odabrati pravi vozni park (veličina vozila, raspodijeljena na vlastiti i eksterni vozni park, kao i njihovi kapaciteti kao što su podizanje, dizalica, rashladni uređaji, tovarni prostor), jer neadekvatan vozni park može značajno smanjiti potencijal transportne tvrtke. Proces optimizacije transporta također treba analizirati različite scenarije toka proizvoda, kao i globalnu identifikaciju uskih grla i čimbenika koji smanjuju profit za tvrtku (www_10.1).

Prednosti pravilno provedenog procesa optimizacije su povećana sigurnost, bolja kvaliteta usluge i veća dostupnost roba i usluga. Integracija sustava i primjena unaprijed definiranih standarda, zajedno s vještim odabirom tehnika optimizacije, pomaže nacionalnom i regionalnom transportu, a također doprinosi povećanju konkurentnosti poduzeća. Najvažnije

prednosti optimizacije, kada se pravilno provede, ilustrirane su na slici 10.1. Sljedeća slika prikazuje promjene koje nastaju implementacijom procesa optimizacije.



Slika 10. 1. Promjene koje proizlaze iz primjene optimizacije transportnih procesa

Izvor: (Zajdel i Filipowicz, 2008)

Može se spomenuti nekoliko problema optimizacije. Najvažniji od njih u skupini malih pošiljaka su:

- izbor između neizravnog i izravnog prijevoznika,
- planiranje distribucijskog potencijala,
- razmotriti lokalnu distribuciju.

Prihvatanje transportnih naloga uvijek postavlja pitanje izbora između izravnih dobavljača i korištenja distribucijske mreže. Donošenje odluke o transportu pošiljke ovisi o terminalu i troškovima dostave. Ovaj problem odnosi se na dimenzije pošiljke. Velika pošiljka i velika udaljenost dostave potiču vas da odaberete izravan transport. Ako se radi o jednoj pošiljci, problem postaje lako rješiv jer je dovoljno usporediti troškove transporta pomoću terminalskog



sustava. No, treba imati na umu da se spajanjem pošiljke s drugim artiklima smanjuju troškovi neizravnog transporta. Projektiranje distribucijske mreže za male parcele strateško je pitanje. Ukupni trošak sustava može se izračunati pomoću sljedeće formule (Milewski, 2011):

$$K_{CSD} = \sum_{j=1}^n K_{d-o_j} + K_{T_j} + K_{P_j},$$

gdje:

K_{CSD} – ukupni trošak distribucijskog sustava,

K_{d-o_j} – troškovi transporta i zbrinjavanja i -tog terminala,

K_{T_j} – terminalni troškovi i -tog terminala,

K_{P_j} – troškovi linijskog transporta i -tog terminala,

n – broj terminala.

Operativni problem je planiranje ruta transporta paketa u okviru strateških dogovora. Ukupni trošak transporta pošiljaka duž određene rute može se izraziti pomoću formule ispod (Milewski, 2011.) :

$$K_{CDL} = \sum_{k=1}^o K_{i,k} * d_k,$$

gdje:

K_{CDL} – ukupni trošak lokalne distribucije,

$K_{i,k}$ – trošak transporta (isporuka ili distribucija) pošiljaka na relaciji k ,

d_k – duljina rute k ,

o – broj ruta.

Glavni cilj optimizacijskih metoda i modela je rješavanje problema. Kriterij optimizacije obično je najkraće moguće vrijeme transporta ili najkraći put. Ovaj je pristup dovoljan pod pretpostavkom da ukupni trošak izravno ovisi o duljini ruta. Stoga rutu treba odabrati tako da bude "što kraća ili da vrijeme putovanja njome bude što kraće". Ovdje treba obratiti pozornost na model optimizacije transportnog makrosustava (Milewski, 2011). Njegova je zadaća razviti odgovarajući broj pokazatelja i mjera potrebnih u procesu racionalnog upravljanja transportom tijekom logističke provedbe operativnih aktivnosti. Što preciznije model odražava testiranu

stvarnost, to su mogućnosti upravljanja učinkovitije. Ovisno o sličnosti, optimizacijski model može se koristiti za izravnu izradu poslovne strategije u sektoru prometnih usluga. Optimizacijski model transportnog sustava pruža metode i znanstvene alate za upravljanje transportnim sustavom. Može se napisati u obliku sljedećeg izraza (Ficoń, 2010).

$$MDE_{ST} = \langle Z_{ST}, P_{ST}(t) \parallel G_{ST}, F_{ST}, H_{ST} \rangle \xrightarrow{\max STO_{ST}} \min S_{ST},$$

gdje:

Z_{ST} – skup operativnih (logističkih) resursa ST sustava,

P_{ST} – skup operativnih (logističkih) procesa ST sustava,

G_{ST} – skup ograničenja i rubnih uvjeta ST sustava,

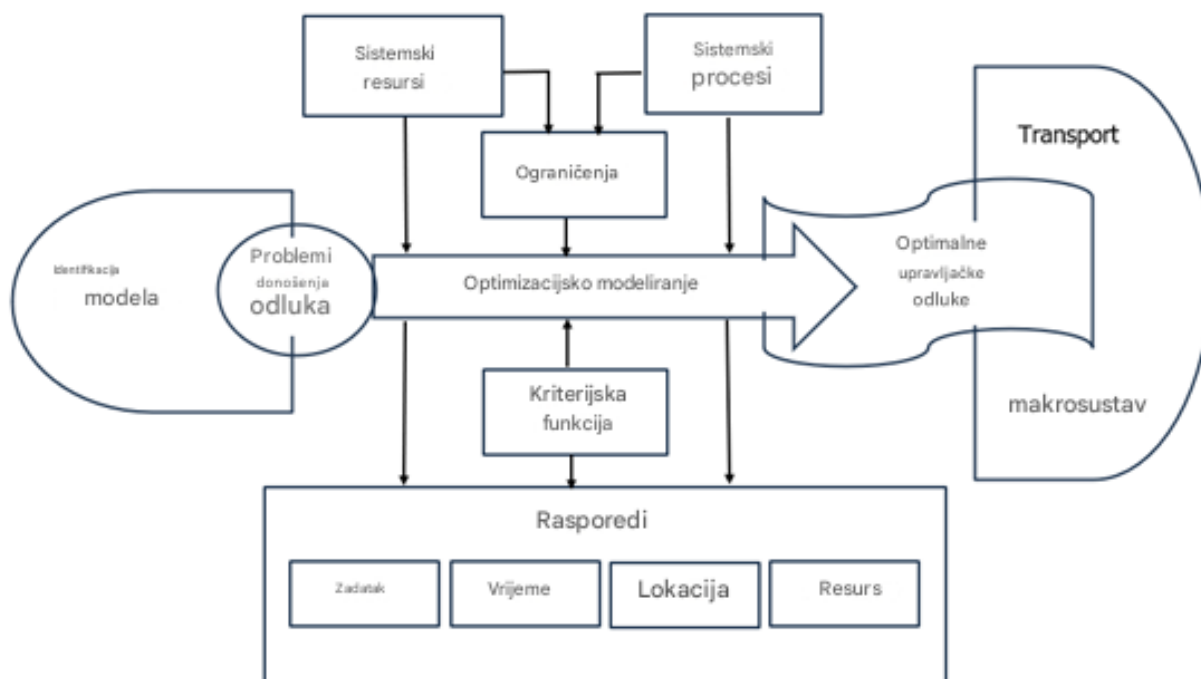
F_{ST} – funkcija kriterija rada ST sustava,

H_{ST} – skup prihvatljivih rasporeda rada za ST sustav,

S_{ST} – globalni troškovi funkcioniranja transportnog makrosustava ST ,

STO – standardi logističke usluge kupcima u transportnom sektoru.

Koncept optimizacijskog modeliranja prometnog sustava prikazan je na slici 10.2.



Slika 10. 2. Koncept optimizacijskog modeliranja prometnog sustava

Izvor: (Ficoń, 2010)



Postoje, naravno, i drugi modeli koji pomažu u rješavanju problema optimizacije u transportu. Postoji mnogo više problema optimizacije transporta. Među njima postoje razlike ovisno o tvrtki, njezinoj veličini i proizvodima koji su joj na raspolaganju.

10.3. Problemi optimizacije transporta u praksi

Jedna od osnovnih komponenti optimizacije transporta je **optimizacija rute**. To uključuje dizajniranje ruta za vozila koja se koriste za transport robe kako bi se optimizirali profit i usluga korisnicima. Za poduzeće to obično znači smanjenje troškova i vremena transporta, dok za kupce to znači niže troškove i isporuku na vrijeme. Ti se ciljevi postižu minimiziranjem prijeđene udaljenosti, mogućnošću prilagodbe rasporeda transporta promjenjivim uvjetima i novim situacijama tijekom vremena, sinkronizacijom transporta sa skladišnim operacijama te mogućnošću česte i brze optimizacije kako bi se ažurirao trenutni plan. Iako je najčešći cilj u transportnim zadaćama svesti troškove transporta na minimum ili nastojati minimizirati udaljenosti, u slučaju transporta proizvoda, uglavnom prehrambenih, kojima može brzo zastarjeti, proizvoda koji brzo gube uporabna svojstva ili onih koji se isporučuju po principu just-in-time zbog ograničenih skladišnih kapaciteta ili prevelikih troškova skladištenja u prostorijama primatelja, ili kasnih isporuka od strane prethodnih karika u opskrbnom lancu, prioritetni cilj je smanjiti vrijeme isporuke za sve isporuke. Kraći rokovi isporuke omogućuju ispunjavanje očekivanja kupaca u pogledu rokova isporuke, kao i očuvanje uporabne vrijednosti transportiranih proizvoda, čime se mogu nadoknaditi troškovi koji proizlaze iz angažmana transportnih sredstava. U gore navedenim slučajevima, najvažnije razmatranje je stoga smanjenje najdužeg vremena transporta u danom sustavu isporuke, tj. izračun najkraćeg vremena u kojem bi isporuke mogle biti dovršene (Gaspars-Wieloch, 2011).

Jedna od osnovnih komponenti optimizacije transporta je optimizacija rute. To uključuje dizajniranje ruta za vozila koja se koriste za transport robe kako bi se optimizirali profit i usluga korisnicima. Za poduzeće to obično znači smanjenje troškova i vremena transporta, dok za kupce to znači niže troškove i isporuku na vrijeme. Ti se ciljevi postižu minimiziranjem prijeđene udaljenosti, mogućnošću prilagodbe rasporeda transporta promjenjivim uvjetima i novim



situacijama tijekom vremena, sinkronizacijom transporta sa skladišnim operacijama te mogućnošću česte i brze optimizacije kako bi se ažurirao trenutni plan. Iako je najčešći cilj u transportnim zadacima svesti troškove transporta na minimum ili nastojati minimizirati udaljenosti, u slučaju transporta proizvoda, uglavnom prehrambenih, kojima može brzo zastarjeti, proizvoda koji brzo gube uporabna svojstva ili onih koji se isporučuju po principu just-in-time zbog ograničenih skladišnih kapaciteta ili prevelikih troškova skladištenja u prostorijama primatelja, ili kasnih isporuka od strane prethodnih karika u opskrbnom lancu, prioritetni cilj je smanjiti vrijeme isporuke za sve isporuke. Kraći rokovi isporuke omogućuju ispunjavanje očekivanja kupaca u pogledu rokova isporuke, kao i očuvanje uporabne vrijednosti transportiranih proizvoda, čime se mogu nadoknaditi troškovi koji proizlaze iz angažmana transportnih sredstava. U gore navedenim slučajevima, najvažnije razmatranje je stoga smanjenje najdužeg vremena transporta u danom sustavu isporuke, tj. izračun najkraćeg vremena u kojem bi isporuke mogle biti dovršene (Gaspars-Wieloch, 2011).

Iz IT perspektive, optimizacija rute u transportu i logistici usko je povezana s **problemom trgovačkog putnika** (TSP) i problemom ranžiranja (VRP, *Vehicle Routing Problem*). Problem trgovačkog putnika je klasični kombinatorni optimizacijski problem, koji uključuje planiranje najkraće i najjeftinije transportne rute, koja prolazi kroz n specificiranih točaka slanja i primanja, sa zadanim troškovima putovanja između svakog para točaka. VRP problem je generalizacija TSP problema. U njemu je moguće imati više putnika (više vozila), uz mogućnost povratka u bazu više puta prije nego što se stigne na svih n lokacija. I za TSP i za VRP problem postoje mnoge generalizacije i dodatna praktična ograničenja, koja mogu uključivati vremenske prozore, sekvencijalna ograničenja posjećenih lokacija, različite sposobnosti vozila i vozača ili ograničenja kapaciteta, koja su korisna za dostavu i preuzimanje (www_10.2).

Kako bi se riješio zadatak TSP-a, potrebno je specificirati: razinu zaliha proizvoda na svakoj točki slanja, obujam potražnje na svakoj točki primanja, kao i troškove transporta od svake točke slanja do svake točke primanja (Vinichenko, 2009). Ako se radi o samo jednom proizvodu, tada se potražnja prijemnih točaka može nadopuniti s jedne ili više otpremnih točaka. Namjera takvog plana je izračunati količinu proizvoda otpremljenih od svake točke



slanja do svake točke primanja kako bi se ukupni troškovi transporta sveli na minimum (Stachurski i Wierzbicki, 2001).

Ako je trošak putovanja izravno proporcionalan prevezenoj količini, imamo posla s linearnim transportnim zadatkom. U protivnom, ako ovaj uvjet nije ispunjen, transportni zadatak postaje nelinearni zadatak. Jedna od najpopularnijih metoda optimizacije je linearno programiranje (Silaen, i dr., 2019; Gass, 2013). Najveća korisnost ove metode uočena je pri kreiranju mreže objekata, pri čemu su ograničavajući uvjeti za model veličina potražnje i ponude za proizvodne pogone, distribucijske centre ili pojedina tržišta. S danom ciljnom funkcijom, uz pretpostavku, na primjer, smanjenja ukupnih troškova, linearno programiranje pomaže u stvaranju optimalnog obrasca postavljanja postrojenja koji uzima u obzir ograničenja potražnje i ponude. Iako je metoda linearnog programiranja prilično praktična, postoje ograničenja u njezinoj uporabi, budući da problem koji se njome rješava mora biti formuliran deterministički, kao i da problem mora biti podvrgnut linearnoj aproksimaciji. Osim toga, fiksni i varijabilni operativni troškovi logističkih objekata ne mogu se uzeti u obzir u linearnom programiranju (Coyle i dr., 2002).

Velik broj znanstvenih radova o teoriji i praksi organiziranja optimalnog transportnog sustava korištenjem različitih modela i metoda. Publikacije (Lai i Bierlaire, 2015; De Maio i Vitetta, 2015; Manley, Orr i Cheng, 2015; Vitetta, 2016) predstavljaju studije optimizacije rute prema kriteriju minimalnog vremena isporuke.

U člancima (Hess, i dr., 2015; Nyrkov, Sokolov i Belousov, 2015) korištene su metode temeljene na alternativnom uzorkovanju za određivanje optimalne rute. Nasuprot tome, autori publikacija (Zhilenkov, Nyrkov, i Cherniy, 2015; Omelianenko, i dr., 2019; Tomashevskiy, 2007; Cheng i Wu, 2020; Zaychenko, 2014) koristili su metode modeliranja ruta temeljene na neizrastoj logici za transportne sustave. U publikacijama (Shang, i dr., 2020; Shramenko i Shramenko, 2019) njihovi su se autori, kako bi planirali optimalnu rutu, koristili heurističkim modelom, dok je u člancima (Maleev, i dr., 2019,; Skvortsov, Pshonkin i Luk'yanov, 2018,) bio opisan kvantni model za određivanje optimalne rute u transportnim sustavima.



Rezultati modeliranja odabira optimalnih ruta korištenjem podataka **Global Positioning System** (GPS) usmjerenih na kamione na dugim putovanjima mogu se vidjeti u publikacijama (Khripach, i dr., 2018; Navrodska, i dr., 2019; Fialko, i dr., 2020).

U nastavku su detaljno prikazani pojedini koraci u rješavanju transportnog zadatka na praktičnom primjeru transportnog problema s vremenskim kriterijem optimizacije opskrbe lanca supermarketa, koji je opisan u članku (Gaspars-Wieloch, 2011).

Karakterizacija problema transportnog problema s vremenskim kriterijem optimizacije opskrbe lanca supermarketa

U opisanom problemu optimizacije transporta razmatra se lanac supermarketa raspoređen u različitim dijelovima zemlje. Za svaki tjedan razvija se novi asortiman robe koji se, uz stalni asortiman koji uključuje namirnice, drogerijske proizvode, prodaje kupcima samo šest dana od ponedjeljka do subote ili do isteka zaliha. Tjedna ponuda između ostalog uključuje bijelu tehniku, proizvode od papira, odjeću, igračke, alate ili predmete za vrtlarstvo. Često je ponuda proizvoda prilagođena godišnjem dobu i blagdanima kao što su Božić, Uskrs, Valentinovo, Svi sveti, Prva Sveta Pričest itd. Tjedne ponude određuju se dosta unaprijed, a proizvodi koje pokrivaju nalaze se u veleprodajama diljem zemlje. Ovisno o mogućnostima koje dobavljači imaju na raspolaganju, različite vrste robe dostavljaju se veletrgovcima tjedan dana unaprijed različitim danima (uključujući subotu ujutro) prije nego što krenu u prodaju. Veletrgovci su dužni pripremiti komplete proizvoda za svaku trgovinu. Primjer kompleta može uključivati 20 salveta, 30 televizora, 40 kanti, 20 pari japanki, 30 lonaca, 20 plišanih medvjedića, 30 pari hlača, 60 krema za ruke, 50 lopti i 40 bilježnica.

Budući da kompleti možda neće biti dovršeni do kraja tjedna, a zbog nedovoljno skladišnog prostora u supermarketima, tvrtka želi isporučiti tjedni asortiman svim trgovinama u noći s nedjelje na ponedjeljak i rasporediti ih po policama bez odgađanja.

Svaki kamion koji napusti skladište odmah dostavlja komplete proizvoda u nekoliko ili čak desetak supermarketa, tvoreći sektor. Supermarketi u sektoru nalaze se prilično blizu jedan drugome (npr. u istom gradu). Vrijeme potrebno za opskrbu sektora ovisi o tome od kojeg



veletrgovca je vozilo preusmjereno u njega. Ključni cilj tvrtke je minimizirati najduže vrijeme isporuke.

Matematički model transportnog zadatka

Opći oblik modela koji opisuje zatvoreni transportni problem s vremenskim kriterijem može se prikazati na sljedeći način (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$\max_{x_{ij} > 0} \{t_{ij}\} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (5),$$

gdje:

x_{ij} – količina robe transportirana od i -tog dobavljača do j -tog kupca,

t_{ij} – vrijeme transporta robe od i -tog dobavljača do j -tog primatelja,

n – broj primatelja,

m – broj dobavljača,

a_i – opskrba i -tog dobavljača,

b_j – j -ti zahtjev kupca.

Kada ne postoji jednakost između ukupne ponude i ukupne potražnje, zadnja formula (5) se ne uzima u obzir i uvjeti ponude (2) ili uvjeti potražnje (3) pretvaraju se u nejednakosti. Gore opisani matematički model primjenjiv je na okolnosti u kojima donositelj odluke ne uzima u obzir druga razmatranja, kao što je nedovoljna količina vozila za opskrbu, potrebna minimalna razina zadovoljenja potražnje ili razlika u prirodi vremena transporta i vremena istovara.



U znanstvenim radovima (Sikora, 2008) prikazan je algoritam za rješavanje prethodno opisanog transportnog problema. Daljnji koraci tijekom radnje prema navedenom algoritmu navedeni su u nastavku (Gaspars-Wieloch, 2011.) :

1. Prvi korak je određivanje dopuštene bazne jednadžbe pomoću metode minimalnog elementa matrice, poznate kao MEM metoda na temelju tablice vremena.
2. u drugom koraku važno je odrediti maksimalno vrijeme isporuke (T^k) za određeno rješenje na temelju formule (6):

$$T^k = \max_{x_{ij} > 0} \{t_{ij}\}, \quad (6)$$

gdje:

T^k – maksimalno vrijeme isporuke u k-toj iteraciji.

3. tablica troškova (c_{ij}) za k -to rješenje mora se prikazati prema formuli (7):

$$c_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & t_{ij} < T^k \\ 1 & t_{ij} = T^k \\ 10 & t_{ij} > T^k \end{array} \right\} \quad \text{if} \quad (7)$$

4. Sljedeći korak je provjera optimalnosti rješenja na temelju tablice troškova. U slučaju nenegativnosti kriterija optimalnosti (Δ_{ij}) za sve osnovne rute, postupak završava u ovoj fazi. Ako su kriteriji optimalnosti negativni, slijedite korake u petom koraku.

$$\Delta_{ij}^k = c_{ij}^k - \alpha_i^k - \beta_j^k, \quad (8)$$

gdje:

α_i^k, β_j^k – dualne varijable, tj. potencijali u k -toj iteraciji.

5. prihvatljivo osnovno rješenje treba ponovno odrediti, uzimajući u obzir najnegativniji kriterij optimalnosti, a zatim se vratiti na drugi korak.

Gore navedeni algoritam temelji se na tzv. metodi potencijala, koja je opisana u mnogim publikacijama, npr. (Leonard, 1997). Ako postoje druge pretpostavke u



konkretnom problemu odlučivanja, a koje se tiču ograničenog kapaciteta pakiranja transportnog sredstva, tada bi se razmatrani postupak trebao dodatno pozivati na načela koja su usvojena tijekom postupka za transportni zadatak s ograničenim kapacitetom rute (Codeca i Cahill, 2022; Sanz i Escobar Gomez, 2013).

Algoritam se može koristiti kao ručna procedura pri rješavanju zadataka s malim brojem dobavljača i kupaca. Za probleme veće složenosti preporuča se korištenje odgovarajućeg programa izrađenog za algoritam u bilo kojem programskom jeziku.

Druga opcija za prikazani postupak može biti razvijeni optimizacijski informatički alat, primjer za koji je Solver, uključen u Microsoft Excel. Međutim, treba uzeti u obzir da verzija Solvera ima utjecaj na vrstu zadataka koji se mogu riješiti. Sa svakom novijom verzijom nudi se više mogućnosti u smislu broja uvjeta ili varijabli u zadatku, vremena potrebnog za rješavanje problema i vrste funkcija koje se koriste. U standardnoj verziji Solvera ne može se koristiti funkcija „if“, „max{ }“ ili „min{ }“. U matematičkom modelu, opisanom formulama (1)-(5), pojavljuje se funkcija „max“ pa se čini da se zadatak ne može riješiti standardnom verzijom Solvera. Kako bi se izvršili izračuni, u nastavku se razmatra primjer s određenim numeričkim podacima, za koji je formuliran odgovarajući matematički model. Primjer se odnosi na lanac supermarketa koji se sastoji od tri veletrgovca, P (na jugu zemlje), Z (na zapadu zemlje) i PW (na sjeveroistoku zemlje), te 50 trgovina, podijeljenih u 8 diferenciranih sektora, označenih slovima (A, B, C, D, E, F, G i H). Na temelju transportiranih proizvoda, svaki veletrgovac može sastaviti 18 kompleta. Potražnja za kompletima po sektoru je sljedeća:

$Z_A = 6; Z_B = 7; Z_C = 9; Z_D = 6; Z_E = 8; Z_F = 5; Z_G = 4; Z_H = 5$, pri čemu je $\sum_{j=1}^8 50$.

Vrijeme koje je dostavnim vozilima potrebno da opsluže svaki sektor formira se vremenom putovanja od veletrgovca do sektora, koje ne ovisi o broju trgovina u sektoru, kao i vremenom istovara u samom sektoru, koje ovisi o broju prodavaonica, kao što je prikazano u tablicama 10.1 i 10.2. Pretpostavlja se da se vrijeme transporta u sektoru, koje je u praksi određeno udaljenošću između trgovina u sektoru, uzima u obzir u vremenima istovara asortimana u svakoj tprodavaonici. Cilj je minimalizirati vrijeme isporuke koje traje najdulje.



Tablica 10. 1. Približno vrijeme putovanja (t_{ij}^p , u satima)

Sectors Wholesalers	A	B	C	D	E	F	G	H
P	9	6	3	3	6	9	12	7
Z	5	4	5	6	9	12	9	7
PW	8	5	11	5	3	3	4	3

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Tablica 10. 2. Prosječno vrijeme istovara jedinice (t_i^r , u satima)

Sectors	A	B	C	D	E	F	G	H
t_i^r	1/3	1/2	1/3	2/5	1/2	2/5	1/4	2/5

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Gore prikazani primjer s numeričkim podacima ima nešto veći stupanj složenosti od standardnog transportnog problema s vremenskim kriterijem. Stoga je točna notacija zadatka optimizacije koja se primjenjuje na dotični primjer samo djelomično slična općem matematičkom modelu, kao što je ilustrirano formulama (9)-(21). Funkcija cilja za minimiziranje vremena isporuke može se napisati na sljedeći način (Gaspars-Wieloch, H. u: Szymczak, M. (ur), 2011., str. 17-18) :

$$\begin{aligned} \max \{ & (9 \min \{x_{11}, 1\} + \frac{1}{3}x_{11}), (6 \min \{x_{12}, 1\} + \frac{1}{2}x_{12}), (3 \min \{x_{13}, 1\} + \frac{1}{3}x_{13}), (3 \min \{x_{14}, 1\} + \\ & + \frac{2}{5}x_{14}), (6 \min \{x_{15}, 1\} + \frac{1}{2}x_{15}), (9 \min \{x_{16}, 1\} + \frac{2}{5}x_{16}), (12 \min \{x_{17}, 1\} + \frac{1}{4}x_{17}), (7 \min \{x_{18}, 1\} \\ & + \frac{2}{5}x_{18}), (5 \min \{x_{21}, 1\} + \frac{1}{3}x_{21}), (4 \min \{x_{22}, 1\} + \frac{1}{2}x_{22}), (5 \min \{x_{23}, 1\} + \frac{1}{3}x_{23}), (6 \min \{x_{24}, 1\} \\ & + \frac{2}{5}x_{24}), (9 \min \{x_{25}, 1\} + \frac{1}{2}x_{25}), (12 \min \{x_{26}, 1\} + \frac{2}{5}x_{26}), (9 \min \{x_{27}, 1\} + \frac{1}{4}x_{27}), \end{aligned}$$



$$\left(7 \min\{x_{28}, 1\} + \frac{2}{5}x_{28}\right), \left(8 \min\{x_{31}, 1\} + \frac{1}{3}x_{31}\right), \left(5 \min\{x_{32}, 1\} + \frac{1}{2}x_{32}\right), \left(11 \min\{x_{33}, 1\} + \frac{1}{3}x_{33}\right), \left(5 \min\{x_{34}, 1\} + \frac{2}{5}x_{34}\right), \left(3 \min\{x_{35}, 1\} + \frac{1}{2}x_{35}\right), \left(3 \min\{x_{36}, 1\} + \frac{2}{5}x_{36}\right), \left(4 \min\{x_{37}, 1\} + \frac{1}{4}x_{37}\right), \left(3 \min\{x_{38}, 1\} + \frac{2}{5}x_{38}\right) \rightarrow \min \quad (9)$$

Uvjeti koji se odnose na sektorsku potražnju napisani su kako slijedi (Gaspars-Wieloch, 2011) :

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 6 \quad (10)$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 7 \quad (11)$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} = 9 \quad (12)$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} = 6 \quad (13)$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} = 8 \quad (14)$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} = 5 \quad (15)$$

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} = 4 \quad (16)$$

$$x_{18} + x_{28} + x_{38} = 5 \quad (17)$$

Uvjeti koji se primjenjuju na opskrbu veletrgovaca prikazani su u nastavku (Gaspars-Wieloch, 2011.) :

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} \leq 18 \quad (18)$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \leq 18 \quad (19)$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} \leq 18 \quad (20)$$

Uvjet koji se odnosi na integrabilnost varijabli odluke ima oblik (Gaspars-Wieloch, 2011.) :

$$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{38} \in N, \quad (21)$$

gdje:

x_{11} – broj kompleta prevezenih iz skladišta P u supermarket A,

⋮



x_{38} – broj kompleta transportiranih od skladišta PW do supermarketa H.

Razmatrani primjer jedan je od prilično zamršenih, ne samo zbog nedostatka izravne mogućnosti rješavanja optimizacijskih problema koji sadrže funkcije „ $\max\{\}$ ” i „ $\min\{\}$ ” u standardnoj verziji Solvera. Daljnje komplikacije uključuju uvedene dvije vrste vremena: vrijeme dolaska u svaki sektor i vrijeme pražnjenja u sektoru. To je bilo nužno jer se proizvodi koji se prevoze kamionima ne istovaruju na jednom mjestu, već u nekoliko trgovina. Stoga postoji korelacija između vremena istovara i broja opsluženih supermarketa. Prethodno opisani algoritam ne bi se trebao izravno primjenjivati na ovu vrstu problema.

Dizajn Excel tablice u prikazanom primjeru transportnog zadatka

Slika 10.3 prikazuje kako unijeti podatke u proračunsku tablicu Microsoft Excel za primjer transportnog zadatka o kojem se govori. Čelije s adresama C8:J10 su polja u kojima će biti prikazane optimalne vrijednosti varijabli odluke ($x_{11}, x_{12}, \dots, x_{38}$). Zbrojene vrijednosti polja odgovarajućih stupaca tablice C8:J10 izračunate su u retku s brojem 11. One predstavljaju lijevu stranu uvjeta (10)-(17). Formulirana potražnja uključena je u redak s brojem 12. Dodane vrijednosti iz raspona ćelija C8:J8, C9:J9, C10:J10 prikazane su u stupcu označenom s K. One sadrže ukupan broj kompleta prevezenih od veletrgovaca P, Z, PW, odnosno lijevu stranu ograničenja ponude (18)-(20). Vrijednosti nabave pojedinačnih veletrgovaca prikazane su u stupcu L.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
7	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
8	P									0	18
9	Z									0	18
10	PW									0	18
11	Sector total	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
13											
16		9	6	3	3	6	9	12	7		
17	Travel time to sector	5	4	5	6	9	12	9	7		
18		8	5	11	5	3	3	4	3		
19											
20	Unloading time	0.33	0.50	0.33	0.40	0.50	0.40	0.25	0.40		
21											
24		0	0	0	0	0	0	0	0		
25	Total unloading time	0	0	0	0	0	0	0	0		
26		0	0	0	0	0	0	0	0		
27											
30	Total journey time (fixed) and unloading time (variable)	9	6	3	3	6	9	12	7		
31		5	4	5	6	9	12	9	7		
32		8	5	11	5	3	3	4	3		
33											
36	Base and non-base routes	0	0	0	0	0	0	0	0		
37		0	0	0	0	0	0	0	0		
38		0	0	0	0	0	0	0	0		
39											
43	Total time on base routes	0	0	0	0	0	0	0	0	Objective function	
44		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
45		0	0	0	0	0	0	0	0		

Slika 10. 3. Podaci uneseni u proračunsku tablicu u ovom primjeru transportnog zadatka

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Redovi 16-45 predstavljaju sažetak parametara i formula potrebnih za određivanje funkcije cilja. Podaci iz tablica 10.1 i 10.2 prikazani su u redovima 16-18 i 20. Ukupno vrijeme istovara od i -tog veletrgovca do j -tog sektora u recima 24-26 izračunato je množenjem vremena istovara jedinice iz retka 20 s brojem isporučenih kompleta u recima 8-10, kao što je prikazano na slici 10.4.

24	Total unloading time	=C20*C8	=D20*D8	=E20*E8	=F20*F8	=G20*G8	=H20*H8	=I20*I8	=J20*J8
25		=C20*C9	=D20*D9	=E20*E9	=F20*F9	=G20*G9	=H20*H9	=I20*I9	=J20*J9
26		=C20*C10	=D20*D10	=E20*E10	=F20*F10	=G20*G10	=H20*H10	=I20*I10	=J20*J10

Slika 10. 4. Izračun ukupnog vremena istovara

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011)

Način određivanja ukupnog vremena putovanja i vremena istovara u redovima označenim brojevima 30-32 prikazan je na slici 10.5.



30	Total journey time (fixed) and unloading time (variable)	=C16+C24	=D16+D24	=E16+E24	=F16+F24	=G16+G24	=H16+H24	=I16+I24
31		=C17+C25	=D17+D25	=E17+E25	=F17+F25	=G17+G25	=H17+H25	=I17+I25
32		=C18+C26	=D18+D26	=E18+E26	=F18+F26	=G18+G26	=H18+H26	=I18+I26

Slika 10. 5. Izračun ukupnog vremena istovara

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011)

Svrha pisanja „ $\min\{x_{ij}, 1\}$ ” u formuli (9) je izdvojiti temeljne rute. U standardnoj verziji Solvera nije moguće rješavati zadatke u kojima je prisutna funkcija 'min{ }'. Stoga se osnovne rute moraju drugačije odrediti. Ako kvocijent u formuli (22) ima vrijednost blizu broja 1, tada se ova ruta može nazvati osnovnom rutom. Ako je, pak, kvocijent jednak nuli, tada se transport na ispitivanoj relaciji neće odvijati, kao što je prikazano na slici 10.6.

$$\frac{x_{ij}}{x_{ij} + 0,00001} \quad (22)$$

36	Base and non-base routes	=C8/(C8+0,00001)	=D8/(D8+0,00001)	=E8/(E8+0,00001)	=F8/(F8+0,00001)	=G8/(G8+0,00001)	=H8/(H8+0,00001)	=I8/(I8+0,00001)
37		=C9/(C9+0,00001)	=D9/(D9+0,00001)	=E9/(E9+0,00001)	=F9/(F9+0,00001)	=G9/(G9+0,00001)	=H9/(H9+0,00001)	=I9/(I9+0,00001)
38		=C10/(C10+0,00001)	=D10/(D10+0,00001)	=E10/(E10+0,00001)	=F10/(F10+0,00001)	=G10/(G10+0,00001)	=H10/(H10+0,00001)	=I10/(I10+0,00001)

Slika 10. 6. Određivanje osnovnih i nebaznih ruta

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011).

Koristeći opisanu metodu, samo vremena za osnovne rute mogu biti uključena u završni korak. Formule za izračun ukupnog vremena na osnovnim rutama nalaze se na slici 10.7. a može se naći u redovima 43-45. Čelije u recima 43-45 su uzastopni argumenti funkcije {max} koja se pojavljuje u formuli (9). Sama funkcija cilja nalazi se u ćeliji L44.

43	Total time on base routes	=C36*C30	=D36*D30	=E36*E30	=F36*F30	=G36*G30	=H36*H30	=I36*I30
44		=C37*C31	=D37*D31	=E37*E31	=F37*F31	=G37*G31	=H37*H31	=I37*I31
45		=C38*C32	=D38*D32	=E38*E32	=F38*F32	=G38*G32	=H38*H32	=I38*I32

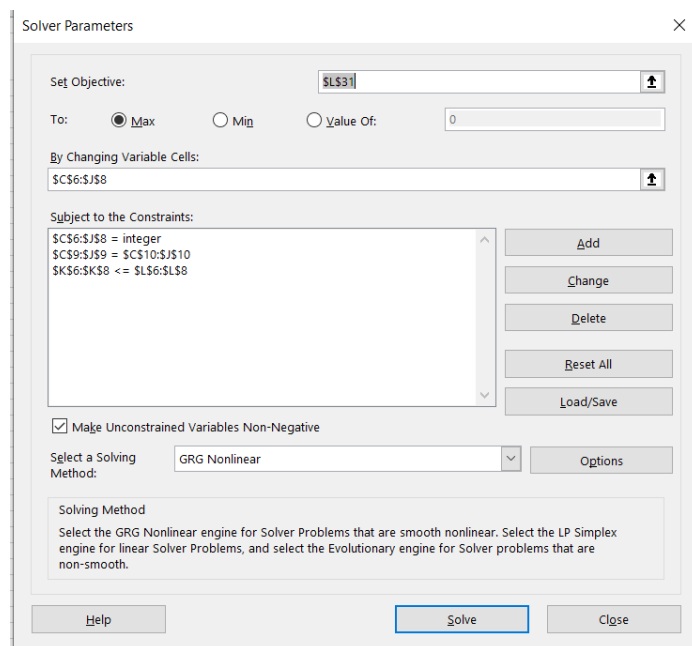
Slika 10. 7. Određivanje ukupnih troškova na osnovnim rutama

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011).

Rješavanje problema u prikazanom prometnom zadatku



Da bi se dobilo optimalno rješenje potrebno je još popuniti prozor Solver (Slika 10.8). U opcijama mora biti odabrana nenegativnost varijabli, a zatim odabrane naredbe "Riješi", "Pohrani rješenje" i "U redu".



Slika 10. 8. Formule u prozoru Solver

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011)

Dobiveni izračuni prikazani su na slici 10.9. No, treba im pristupiti s oprezom jer je prilikom izrade radnog lista izbjegnuta samo upotreba funkcija tipa „min{ }“, dok je funkcija „max{ }“ i dalje ostala. Rezultate bi stoga trebalo pomnije pogledati. Transport proizvoda na ruti koja povezuje veletrgovinu P sa sektorom F trenutno ima najduže trajanje, tj. 9,8 sati i treba opsluživati dvije trgovine ($x_{16} = 2$). Stoga treba pokušati pronaći povoljniji raspored isporuka dodavanjem uvjeta $x_{16} \leq 1$, tj. $H_{16} \leq 1$. Ovo će smanjiti vrijeme transporta i pražnjenja na maksimalno $9,8 - 0,4 = 9,4$ sata, što će rezultirati povoljnijim rješenjem.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	3,0	7,0	2,0	3,0	2,0	0,0	0,0	17	18
7	Z	6,0	1,0	2,0	4,0	0,0	0,0	1,0	1,0	15	18
8	PW	0,0	3,0	0,0	0,0	5,0	3,0	3,0	4,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
12	Travel time to sector	9	6	3	3	6	9	12	7		
13		5	4	5	6	9	12	9	7		
14		8	5	11	5	3	3	4	3		
15											
16	Unloading time	0,33	0,50	0,33	0,40	0,50	0,40	0,25	0,40		
17											
18	Total unloading time	0	1,5	2,31	0,8	1,5	0,8	0	0		
19		1,98	0,5	0,66	1,6	0	0	0,25	0,4		
20		0	1,5	0	0	2,5	1,2	0,75	1,6		
21											
22	Total journey time (fixed) and unloading time (variable)	9	7,5	5,31	3,8	7,5	9,8	12	7		
23		6,98	4,5	5,66	7,6	9	12	9,25	7,4		
24		8	6,5	11	5	5,5	4,2	4,75	4,6		
25											
26	Base and non-base routes	0	1	1	1	1	1	0	0		
27		1	1	1	1	0	0	1	1		
28		0	1	0	0	1	1	1	1		
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,5	5,3	3,8	7,5	9,8	0,0	0,0		Objective function
31		7,0	4,5	5,7	7,6	0,0	0,0	9,2	7,4		9,8
32		0,0	6,5	0,0	0,0	5,5	4,2	4,7	4,6		

Slika 10. 9. Prvo rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Drugi plan prikazan je na slici 10.10. U njemu vrijedi uključiti uvjet $x_{28} \leq 2$, tj. $x_{28} \leq 2$, jer će tada pridonijeti smanjenju vremena isporuke na ZH relaciji za najmanje 0,4 sata (vrijeme istovara za proizvode u H sektoru tada će biti $8,2 - 0,4 = 7,8$ sati).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	3,0	8,0	1,0	3,0	0,0	0,0	1,0	16	18
7	Z	6,0	2,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	3,0	16	18
8	PW	0,0	2,0	0,0	1,0	5,0	5,0	4,0	1,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,5	5,6	3,4	7,5	0,0	0,0	7,4		Objective function
31		7,0	5,0	5,3	7,6	0,0	0,0	0,0	8,2		8,2
32		0,0	6,0	0,0	5,4	5,5	5,0	5,0	3,4		

Slika 10. 10. Drugo rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)



Treće rješenje ilustrirano je na slici 10.11. Vrijeme na ZH ruti zapravo se smanjilo na 7,5 sati, ali je najdulje vrijeme zabilježeno na PE ruti (8 sati). Netko bi mogao biti u iskušenju vidjeti bi li dodavanje kriterija $x_{15} \leq 3$, *czyli* $\$G\$8 \leq 3$ poboljšalo konačni rezultat?

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	2,0	8,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	18	18
7	Z	6,0	4,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	15	18
8	PW	0,0	1,0	0,0	0,0	4,0	5,0	4,0	3,0	17	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,0	5,6	4,6	8,0	0,0	0,0	0,0		Objective function
31		7,0	6,0	5,3	6,8	0,0	0,0	0,0	7,8		8,0
32		0,0	5,5	0,0	0,0	5,0	5,0	5,0	4,2		

Slika 10. 11. Treće rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

U četvrtom rješenju, prikazanom na slici 10.12, najduže vrijeme isporuke je samo 7,5 sati. Nakon uvođenja ograničenja na rute, koje sada određuju vrijednost funkcije cilja: $x_{12} \leq 2$, *czyli* $\$D\$8 \leq 2$ i $x_{15} \leq 2$, *czyli* $\$G\$8 \leq 2$.

Slika 10.13 prikazuje peto optimalno rješenje. Čak i ako se dodaju dodatna ograničenja, ona više neće poboljšati vrijeme isporuke.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	3,0	4,0	6,0	3,0	0,0	0,0	1,0	17	18
7	Z	6,0	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	15	18
8	PW	0,0	1,0	0,0	0,0	5,0	5,0	4,0	3,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,5	4,3	5,4	7,5	0,0	0,0	7,4		Objective function
31		7,0	5,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4		7,5
32		0,0	5,5	0,0	0,0	5,5	5,0	5,0	4,2		

Slika 10. 12. Četvrto rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	2,0	4,0	6,0	2,0	0,0	0,0	1,0	15	18
7	Z	6,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	17	18
8	PW	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	4,0	3,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,0	4,3	5,4	7,0	0,0	0,0	7,4		Objective function
31		7,0	6,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4		7,4
32		0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	5,0	4,2		

Slika 10. 13. Peto rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Pretpostavka za optimalno rješenje zadatka je da će najdulje vrijeme isporuke od 7,4 sata biti zabilježeno na dvije relacije: PH i ZH. Svaki će sektor biti opskrbljen kompletima u skladu s prijavljenom potražnjom. Zalihe PW veletrgovaca bit će maksimalno iskorištene. Za opskrbu lanca supermarketa bit će potrebno 13 kamiona.

Uspoređujući rezultate dobivene u četvrtom i petom rješenju, moglo bi se zapravo završiti s implementacijom četvrte opcije zbog male razlike u vremenu ($7,5 - 7,4 = 0,1$ h). Ovdje vrijedi napomenuti da bi u četvrtom planu, uz nešto duži rok isporuke, trebalo otpremiti čak 14 teretnih vozila. Dobiveni rezultat naravno nije jedino optimalno rješenje. Različite simulacije mogu dovesti do različitih zaključaka.

Analiza znanstvenih radova koji su spomenuti u prethodnim dijelovima ovog članka pokazuje da se istraživanja istraživača koriste različitim analitičkim pristupima organizaciji teretnog prometa i načinima rada objekata, kao i načinima rada pojedinih elemenata i dijelova logističkih sustava. Time je moguće odabrati metodu kojom će se optimizirati transportni sustav koji je izuzetno važna komponenta logističkih procesa u poduzeću koja utječe na profitabilnost poduzeća.

PITANJA POGLAVLJA

1. Koji su glavni problemi prometne politike vezani uz optimizaciju prometnog sustava?
2. Koji su glavni ciljevi optimizacije rute za tvrtku i primatelje?
3. Što je problem trgovačkog putnika (TSP) i kako je povezan s optimizacijom rute?



LITERATURA

- Abdulsalam, K., A., Siti, Z., I., (2020). Developing Palm Oil Inventory Control System Using Excel Macro, *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 5, 51-55.
- Cheng, C. & Wu, J., (2020). Intelligent Management and Control of Transportation Hubs Based on Big Data Technology, in *Advances in Intelligent Systems and Computing: International Conference on Cyber Security Intelligence and Analytics*, Haikou: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- Codeca, L. & Cahill, V., (2022). Using Deep Reinforcement Learning to Coordinate Multi-Modal Journey Planning with Limited Transportation Capacity, *SUMO User Conference*.
- Coyle, J., Bardi, J. & Langley, J., (2002). *The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*, South-Western.
- De Maio, L. M., Vitetta, A., (2015). Route Choice on Road Transport System: A Fuzzy Approach, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 28, no. 5, 2015-2027.
- Dekhtyaruk, M.T., Shao, M., Yang, S., Kontrobayeva, Z.D., Vashchilina, E. (2021). Automated system of freight traffic optimisation in the interaction of various modes of transport, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 9, No. 3, September 2021, p.844-857
- Fialko, N.M., Navrodska, R.O., Gnedash, G.O., Presich, G.O. & Shevchuk, S.I., (2020). Study of Heat Recovery Systems of or Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units, *Science and Innovation*, 16(3), 43-49.
- Ficoń, K. (2010). Optymalizacja makrosystemów transportowych według kryteriów logistycznych, *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*. 3(182).
- Gaspars-Wieloch, H. in: Szymczak, M. (ed.), (2011). *Zastosowanie zagadnienia transportowego z kryterium czasu do optymalizacji zaopatrzenia sieci supermarketów*, Difin, Warszawa.
- Gass, S. (2013). *An Illustrated Guide to Linnear Programming*, Dover Publications.



- Hess, S., Quddus, M., Rieser-Schüssler, N. & Daly, A. (2015). Developing Advanced Route Choice Models for Heavy Goods Vehicles Using GPS Data, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77, 29-44.
- Khripach, N., Lezhnev, L., Tatarnikov, A., Stukolkin, R. & Skvortsov, A., (2018). Turbo-Generators in Energy Recovery Systems, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(6), 1009-1018.
- Krawczyk, S. (2001). Zarządzanie procesami logistycznymi, PWE, Warszawa.
- Lai, X. & Bierlaire, M., (2015). Specification of the Cross-Nested Logit Model with Sampling of Alternatives for Route Choice Models, *Transportation Research Part B: Methodological*, 80, 220-234.
- Leonard, W.H., (1997). *The Quantitative Approach to Managerial Decisions*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Liu, S., Zhang, G. & Wang, L., (2018). IoT-enabled Dynamic Optimisation for Sustainable Reverse Logistics, *Procedia CIRP*, 69, 662-667.
- Maleev, R. A., Zuev, S. M., Fironov, A. M., Volchkov, N. A.. & Skvortsov, A. A., (2019). The Starting Processes of a Car Engine Using Capacitive Energy Storages, *Periodico Tche Quimica*, 16(33), 877-888.
- Manley, E., Orr, S. & Cheng, T. A., (2015). A Heuristic Model of Bounded Route Choice in Urban Areas, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 195-209.
- Milewski, D., (2011). Problemy optymalizacji w przewozach przesyłek drobnych, *Problemy Transportu i Logistyki*, Uniwersytet Szczeciński. Zeszyty naukowe 644, Szczecin.
- Navrodska, R., Fialko, N.G. Presich, N.G., Gnedash, G., Alioshko, S. and Shevcuk, S., (2019). Reducing Nitrogen Oxide Emissions in Boilers at Moistening of Blowing Air in Heat Recovery Systems, *E3S Web of Conferences*, vol. 100, article number 00055.
- Nyrkov, A. P., Sokolov, S. S. & Belousov, A. S., (2015). Algorithmic Support of Optimization of Multicast Data Transmission in Networks with Dynamic Routing, *Modern Applied Science*, 9(5), 162-176.
- Omelianenko, S., Kondratenko, Y., Kondratenko, G. & Sidenko, I., (2019). Advanced System of Planning and Optimization of Cargo Delivery and Its Iot Application, in *Proceedings of the 3rd*



International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, Lviv: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Sanz, F.T., Escobar Gomez, E.N., (2013). The Vehicle Routing Problem with Limited Vehicle Capacities, *International Journal for Traffic*.

Shang, X., Yang, K., Wang, W., Zhang, H. & Celic, S., (2020). Stochastic Hierarchical Multimodal Hub Location Problem for Cargo Delivery Systems: Formulation and Algorithm, *IEEE Access*, 8, 55076-55090.

Shramenko, N. Y. & Shramenko, V. O., (2019). Optimization of Technological Specifications and Methodology of Estimating the Efficiency of the Bulk Cargo Delivery Process, *Scientific Bulletin of National Mining University*, vol. 2019, no. 3, pp. 146 151.

Sikora, W. (ed.), (2008). *Badania operacyjne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

Silaen, N.E., Savaluddin, Tulus, (2019), Optimization Model in Logistics Planning and Supply Chain, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1255.

Skvortsov, A. A., Pshonkin, D. E. & Luk'yanov, M. N., (2018). Influence of Constant Magnetic Fields on Defect Formation Under Conditions of Heat Shock in Surface Layers of Silicon, *Key Engineering Materials*, 771, 124-129.

Stachurski, A., Wierzbicki, A. (2001). *Podstawy optymalizacji*, Warszawa, PW.

Sun, F., Dubey, A., White, J. & Gokhale, A., (2019). Transit-Hub: A Smart Public Transportation Decision Support System with Multi-Timescale Analytical Services, *Cluster Computing*, 22, 2239-2254.

Tomashevskiy, V. N., (2007). *Systems Modeling*, Kyiv: Publishing Group BHV.

Trzaskalik, T. (ed.). *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, PWE, Warszawa.

Vakulenko, S. & Evreenova, N., (2019). Transport Hubs as the Basis of Multimodal Passenger Transportation, in *Proceedings of the 12th International Conference "Management of Large-Scale System Development*, Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Vitetta, A., (2016). A Quantum Utility Model for Route Choice in Transport Systems, *Travel Behaviour and Society*, 3, 29-37.



Winiczenko, R., (2009). Optymalizacja kosztów transportu metodą bezpośredniego poszukiwania, Postępy techniki przetwórstwa spożywczego, 1.

Wong, K.Y.M., SAAD, D. & Yeung, C.H., (2016). Distributed Optimization in Transportation and Logistics Networks, IEICE Trans. Commun., E99-B.(11).

Yahiaoui, A., (2019). Stability Analysis of Following Vehicles on a Highway for Safety of Automated Transportation Systems, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 17(3), 190-199.

Zajdel, M., Filipowicz, B., (2008). Dobór metod optymalizacji dla sieci transportowych, Automatyka, 12(13), 999.

Zaychenko, Ju. P., (2014). Operations Research, Kyiv: Slovo.

Zhilenkov, A. A. Nyrkov, A. P. & Cherniy, S. G., (2015). Evaluation of Reliability and Efficiency of Distributed Systems Rigs, Automation in the Industry, 6, 50-52.

(www_10.1) <http://optifacility.mooncoder.com/site/pl/optymalizacja-transportu>, access 2024.05.30.

(www_10.2) <http://optifacility.mooncoder.com/site/pl/optymalizacja-tras>, access 2024.05.30.



POPIS TABLICA

Tablica 1 . 1 . Ulazni podaci za zadatak optimizacije koji rješava Solver	21
Tablica 2 . 1 . Tablica koja uspoređuje vrste grafikona prema njihovim svojstvima	39
Tablica 4 . 1 . Razlike između kontrolinga u opskrbnom lancu iu poduzeću.....	75
Tablica 5 . 1 . Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Cijena/troškovi i uvjeti plaćanja	90
Tablica 5 . 2 . Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Isporuke.....	90
Tablica 5 . 3 . Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Kvaliteta proizvoda	91
Tablica 5 . 4 . Razvoj kriterija ocjenjivanja dobavljača – Potencijal dobavljača	91
Tablica 5 . 5 . Kriterij otpornosti.....	105
Tablica 6 . 1 . Primjeri područja koja se mogu prenijeti na uslužnu tvrtku u sklopu outsourcinga	111
Tablica 6 . 2. Varijante kapitalnog i ugovornog outsourcinga ovisno o obliku prijenosa djelatnosti na uslužnu tvrtku.....	113
Tablica 6 . 3 . Osnovne vrste outsourcinga.....	114
Tablica 6 . 4 . Osnovne vrste outsourcinga.....	131
Tablica 8 . 1 . Prednosti predviđanja potražnje	152
Tablica 8 . 2 . Vizualizacija vremenskih serija	156
Tablica 8 . 3 . Odabrane vrste outliera	158
Tablica 8 . 4 . Vrste zanošenja	164
Tablica 8 . 5 . Odabrane pogreške predviđanja.....	182
Tablica 8 . 6 . Odabrane značajke programa Excel	183
Tablica 9 . 1 . Pristup 9 okvira odnosu ABC-XYZ.....	216
Tablica 10 . 1 . Približno vrijeme putovanja (t_{ijp} , u satima).....	234
Tablica 10 . 2 . Prosječno vrijeme istovara jedinice (t_{ir} , u satima)	234



POPIS SLIKA

Slika 1 . 1 . Pogled na vrpcu podataka s naredbama filtera.....	16
Slika 1 . 2 . Primjer primjene autofiltera po formatu (po ikonama ćelija i boji fonta)	16
Slika 1 . 3 . Prikaz prozora Sortiranje s postavljenim kriterijima za višerazinsko sortiranje ...	17
Slika 1 . 4 . Primjer izvješća zaokretne tablice u Excelu	19
Slika 1 . 5 . Zaokretna tablica koja prikazuje Prosječan broj prodanih proizvoda isporučenih pojedinom Kupcu korištenjem pojedinih vrsta transporta	20
Slika 1 . 6 . Primjena Solvera na primjer zadatka optimizacije.....	22
Slika 2 . 1 . Grupirani stupčasti grafikon.....	29
Slika 2 . 2 . Složeni stupčasti grafikon.....	29
Slika 2 . 3 . Tortni grafikon	30
Slika 2 . 4 . Linijski grafikon.....	31
Slika 2 . 5 . Stock chart.....	31
Slika 2 . 6 . Radarska karta	32
Slika 2 . 7 . Histogram	33
Slika 2 . 8 . Pareto dijagram	33
Slika 2 . 9 . Toplinska karta	34
Slika 2 . 10 . Kombinirani grafikon.....	35
Slika 2 . 11 . Kako stvoriti nadzornu ploču.....	36
Slika 2 . 12 . Primjer nadzorne ploče prodaje	37
Slika 2 . 13 . Upotreba nadzornih ploča	37
Slika 2 . 14 . Primjer operativne nadzorne ploče	38
Slika 3 . 1 . Podjela skladišnog prostora.....	46
Slika 3 . 2 . Skladišni modul za skladištenje u nizu bez opreme s okomitim rasporedom paletiziranih LU	47
Slika 3 . 3 . Skladišni modul za redno skladištenje bez opreme s paralelnim rasporedom paletiziranih LU	48
Slika 3 . 4 . Skladišni modul za blok skladištenje bez opreme.....	49



Slika 3 . 5 . Ilustracija slučaja distribuiranog zalihaa	55
Slika 3 . 6 . Ilustracija slučaja centraliziranog popisa.....	56
Slika 5 . 1 . Odabrani kriteriji ocjenjivanja dobavljača	89
Slika 6 . 1 . Evolucija koncepta outsourcinga.....	112
Slika 6 . 2 . Kritični obujam proizvodnje.....	120
Slika 6 . 3 . Faze outsourcinga	121
Slika 6 . 4 . Izračun podataka za grafičko određivanje prijelomne točke.....	124
Slika 6 . 5 . Grafikon točke rentabilnosti.....	125
Slika 6 . 6 . Procjena problema <i>Make-or-Buy</i> uzimajući u obzir kvantitativne i kvalitativne čimbenike	127
Slika 8 . 1 . Generalizirani model predviđanja.....	151
Slika 8 . 2 . Metode predviđanja – vrste	154
Slika 8 . 3 . Metode kvantitativne prognoze	155
Slika 8 . 4 . Jasno nedosljedne vrijednosti s općom pravilnošću vremenske serije	160
Slika 8 . 5 . Filtriranje vrijednosti i outliera	160
Slika 8 . 6 . Kvantitativne metode za predviđanje vremenskih serija	161
Slika 9 . 1 . Odnos između PSL-a i troškova zaliha	194
Slika 9 . 2 . Odnos između razine korisničke usluge i prihoda i dobiti.....	196
Slika 9 . 3 . Krivulja ABC analize.....	214
Slika 10 . 1 . Promjene koje proizlaze iz primjene optimizacije transportnih procesa	224
Slika 10 . 2 . Koncept optimizacijskog modeliranja prometnog sustava	226
Slika 10 . 3 . Podaci uneseni u proračunsku tablicu u ovom primjeru transportnog zadatka.....	237
Slika 10 . 4 . Izračun ukupnog vremena istovara	237
Slika 10 . 5 . Izračun ukupnog vremena istovara	238
Slika 10 . 6 . Određivanje osnovnih i nebaznih ruta	238
Slika 10 . 7 . Određivanje ukupnih troškova na osnovnim rutama.....	238
Slika 10 . 8 . Formule u prozoru Solver	239
Slika 10 . 9 . Prvo rješenje zadatka optimizacije	240
Slika 10 . 10 . Drugo rješenje zadatka optimizacije	240
Slika 10 . 11 . Treće rješenje zadatka optimizacije	241



Slika 10 . 12 . Četvrto rješenje zadatka optimizacije	241
Slika 10 . 13 . Peto rješenje zadatka optimizacije	242



Katarzyna Grzybowska, PhD, DSc, Eng.

je predavač na Fakultetu za inženjerski menadžment Poznań University of Technology. Predavač iz područja upravljanja opskrbnim lancem i operativnog menadžmenta u logistici. Njezin glavni predmet akademskog interesa je upravljanje opskrbnim lancem (digitalni lanac opskrbe, održivi lanac opskrbe, odnosi unutar lanca opskrbe, otpornost lanca opskrbe) i upravljanje promjenama u novoj ekonomiji (automatizacija poslovnih procesa). Autorica je i koautorica više od 140 radova objavljenih u knjigama, časopisima i zbornicima radova. Sudjeluje u znanstvenim, didaktičkim i poslovnim projektima.

ORCID: 0000-0002-4026-2473



Katarzyna Ragin -Skorecka, PhD inž.

Znanstveno-nastavna je djelatnica s dugogodišnjim iskustvom. Znanstveno se bavi pitanjima upravljanja procesima i projektima te podrškom tim područjima informacijskim tehnologijama (uključujući AI). Studente uvodi u tajne predmeta: elektronička ekonomija, programsko inženjerstvo, projektni menadžment, big data u menadžmentu. Voditeljica je magistarskih radova za studente inženjerstva menadžmenta i logistike. Predsjednica je Povjerenstva za dodjelu stipendija. Voditeljica je Laboratorija za informacijske sustave upravljanja i eLearning tima. Također vodi nastavni projekt Pametna tvornica 4.0.

ORCID: 0000-0002-7359-9232



Katarzyna Siemieniak, mr. ing.

Diplomirala na Poznan University of Technology, Fakultet strojarstva, smjer menadžment i marketing. Predavač na Fakultetu za inženjerstvo menadžmenta Poznan University of Technology, Institut za menadžment i informacijske sustave. Do sada je izvodila laboratorijsku nastavu iz predmeta kao što su: Računalstvo, Informatika u menadžmentu, Informacijska tehnologija, Baze podataka, Napredne MS Office funkcije na fakultetima Inženjerstvo menadžmenta, Inženjerski menadžment, Logistika i Sigurnosno inženjerstvo. Autorica je publikacija o korištenju neizrazitog modela i sivih sustava u analizi gubitaka radnog vremena u proizvodnim poduzećima. Također je članica Fakultetskog tima za kvalitetu obrazovanja, gdje je u sklopu svojih zadataka izradila rezultate anketa o sudbini diplomanata Fakulteta za inženjerstvo menadžmenta Poznan University of Technology, sukreirala izvješća o samoprocjeni za KAUT i PKA akreditaciju.

ORCID: 0000-0002-1961-5182



Piotr Cyplik dr. sc., ing.

On je izvanredni profesor. Predavač iz područja upravljanja opskrbnim lancem, upravljanja proizvodnjom, upravljanja zalihama, nabavne i nabavne logistike i modela predviđanja. Autor je ili koautor, urednik ili suurednik 20 monografija i preko 130 članaka u znanstvenim časopisima, poglavlja u monografijama i preko 30 konferencijskih priopćenja. Glavni je urednik časopisa LogForum, indeksiranog u Scopus i WoS. Ima bogato iskustvo u dobivanju projekata iz EU fondova. Bio je voditelj ili glavni izvođač više od 10 R+D projekata financiranih



iz EU programa u području razvoja visokog obrazovanja i istraživačkog rada za poduzeća. Vodio je 4 i sudjelovao u nekoliko kasnijih razvojnih i nastavnih projekata financiranih iz programa Leonardo da Vinci i Erasmus+. Aktivan je savjetnik u području široko shvaćenog upravljanja proizvodnjom, optimizacije logističkih procesa i upravljanja opskrbnim lancem. Vodio je više od 60 savjetodavnih projekata iz gore navedenog područja za tvrtke s nacionalnim i međunarodnim dosegom.

ORCID: 0000-0002-5775-6760



Michał Adamczak, dr. inż.

Istraživački i nastavni djelatnik na Poznan School of Logistics. Pročelnik Odsjeka za logistiku na ovom sveučilištu. Član uprave Poljske logističke udruge. Specijalizirao se za upravljanje, zalihe, upravljanje opskrbnim lancem i upravljanje proizvodnjom. U svom radu koristi alate za analizu logističkih podataka, statističke analize, modeliranje i simulacije procesa, uključujući proračunsku tablicu Ms Excel. Autor otvorenih i zatvorenih edukacijskih programa na gore navedene teme. Realizator nekoliko desetaka savjetodavnih projekata za trgovačka i proizvodna poduzeća. Glavni znanstvenik u mnogim projektima koji se provode u okviru programa ERASMUS+. Autor preko 100 znanstvenih radova u renomiranim domaćim i stranim časopisima. Sudionik mnogih međunarodnih konferencija.

ORCID: 0000-0003-4183-7264



Jędrzej Jankowski- Guzy, mr.sc

Istraživački i nastavni djelatnik na Poznań School of Logistics. Zamjenik ravnatelja Sektora za ekonomske analize u Ministarstvu obitelji, rada i socijalne politike Poljske. Realizator mnogih razvojnih projekata za tvrtke iz proizvodnog i logističkog sektora. Trener u području upravljanja opskrbnim lancem, analize podataka i predviđanja. 10 godina iskustva u analizi, kontrolingu i razvoju u proizvodnim tvrtkama i logističkim operaterima.

ORCID: 0009-0005-1484-2836



Adrianna Toboła -Walaszczyk, MSc inż.

Diplomirao je na Poznan University of Technology, Fakultet za inženjerstvo menadžmenta, smjer logistika. Istraživački i nastavni djelatnik, akademski nastavnik na Poznan School of Logistics, asistent i koordinator na Katedri za logistiku. Predavač modeliranja i simulacije poslovnih procesa, logistike i upravljanja lancem opskrbe na redovnom i izvanrednom studiju na Poznan School of Logistics. Autor znanstvenih publikacija iz područja logistike, upravljanja lancem opskrbe, modeliranja poslovnih procesa i industrije 4.0. Istraživač prošlih i tekućih razvojnih projekata financiranih od strane EU u okviru programa ERASMUS+. Istraživač brojnih optimizacijskih i razvojnih projekata za tvrtke u sektoru proizvodnje i logistike.

ORCID: 0000-0002-5966-8852

BUSINESS ANALYTICS SKILLS FOR THE FUTURE- PROOF SUPPLY CHAINS