

Modeli upravljanja zalihama i mogućnost primjene umjetne inteligencije u sustavu upravljanja zalihama

Abičić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:092799>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Abičić

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Tihomir Opetuk

Student:

Tomislav Abičić

Zagreb, 2025.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se na pomoći pri izradi ovog rada svom mentoru, Tihomiru Opetuku, na stručnim savjetima i usmjerenju koji su mi omogućili da kvalitetno razvijem ovu temu. Posebnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima i obitelji, koji su mi pružili neizmjernu podršku i motivaciju tijekom cijelog školovanja, čija me podrška i razumijevanje pratila kroz svaki izazov tijekom diplomskog studija. Bez njihove potpore, ovaj rad ne bi bio moguć.

Tomislav Abičić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
 mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



| | |
|--------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 25 - 06 / 1 | |
| Ur.broj: 15 - 25 - | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Abičić** JMBAG: 0035220449

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Modeli upravljanja zalihama i mogućnost primjene umjetne inteligencije u sustavu upravljanja zalihama**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Inventory management models and the possibility of applying artificial intelligence in the inventory management system**

Opis zadatka:

Sustav upravljanja zalihama poduzeća predstavlja važan dio proizvodnog sustava. Unutar proizvodnog sustava zalihe omogućavaju da proizvodni proces teče nesmetano bez zastoja. Stoga je važno imati dovoljnu količinu zaliha na stanju unutar poduzeća. Obzirom na događaje proteklih par godina optimalno upravljanje zalihama dobilo je još više na važnosti. Shodno tome koriste se razni alati analize zaliha, modeli upravljanja zalihama, suvremeni koncepti nabave itd. Razvojem umjetne inteligencija pojavila se mogućnost primjene iste u upravljanju zalihama.

U radu je potrebno:

- Prikazati i opisati suvremene koncepte nabave i modele upravljanja zalihama.
- Prikazati i opisati razvoj umjetne inteligencije.
- Istražiti mogućnosti primjene umjetne inteligencije u sustavu upravljanja zalihama, odnosno upravljanju skladištem. Istraživanje potvrditi studijama slučaja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. studeni 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Tihomir Opetuk

Datum predaje rada:

30. siječnja 2025.

Predviđeni datumi obrane:

6., 7. i 10. veljače 2025.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

SADRŽAJ

| | |
|--|------|
| SADRŽAJ | II |
| POPIS SLIKA | IV |
| POPIS TABLICA..... | V |
| POPIS KRATICA | VI |
| POPIS OZNAKA | VII |
| SAŽETAK..... | VIII |
| SUMMARY | IX |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. NABAVA..... | 2 |
| 2.1. Uvod u operacijski menadžment | 2 |
| 2.2. Pojam nabave | 3 |
| 2.3. Suvremeni koncepti nabave | 5 |
| 2.3.1. E-nabava (E-procurement) | 5 |
| 2.3.2. Upravljanje odnosima s dobavljačima | 5 |
| 2.3.3. Održiva nabava..... | 6 |
| 2.3.4. JIT nabava | 7 |
| 2.3.5. Blockchain..... | 8 |
| 2.3.6. Upravljanje životnim ciklusom informacija..... | 8 |
| 2.3.7. Geopolitika i nabava..... | 9 |
| 3. UPRAVLJANJE SKLADIŠTEM | 10 |
| 3.1. Kategorije troškova skladišta | 12 |
| 3.2. Potreba za skladištenjem | 13 |
| 3.3. Lokacija skladišta..... | 13 |
| 4. UPRAVLJANJE ZALIHAMA | 15 |
| 4.1. Pojam zaliha | 15 |
| 4.1.1. Vrste zaliha..... | 16 |
| 4.1.2. Troškovi zaliha..... | 22 |
| 4.1.3. Sustavi kontrole zaliha | 25 |
| 4.1.4. ABC sustav klasifikacije zaliha..... | 28 |
| 4.1.5. Ponovno naručivanje | 30 |
| 4.2. Upravljanje zalihama..... | 33 |
| 4.2.1. Definiranje pojmova..... | 35 |
| 4.2.2. Potražnja..... | 36 |
| 4.2.3. Geopolitika i upravljanje zalihama | 38 |
| 4.3. Modeli upravljanja zaliha..... | 39 |
| 4.3.1. Tradicionalni modeli upravljanja zalihama..... | 40 |
| 4.3.2. Suvremeni modeli upravljanja zalihama | 42 |
| 4.4. Informacijski sustavi i upravljanje zaliha..... | 48 |
| 4.4.1. Informacijski sustavi u upravljanju zalihama..... | 49 |
| 5. UMJETNA INTELIGENCIJA U UPRAVLJANJU ZALIHAMA I SKLADIŠTEM | 50 |

| | |
|---|----|
| 5.1. Razvoj umjetne inteligencije | 50 |
| 5.2. AI i logistika..... | 51 |
| 5.2.1. Integracija AI-a u ERP sustave | 54 |
| 5.3. Studija slučaja – Primjena umjetne inteligencije u rješavanju izazova upravljanju zalihama u proizvodnoj industriji | 55 |
| 5.4. Studija slučaja – Strojno učenje u upravljanju skladištem..... | 56 |
| 5.5. Studija slučaja – Umjetna inteligencija u sustavima planiranja potreba poduzeća..... | 57 |
| 6. ZAKLJUČAK | 58 |
| LITERATURA..... | 59 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Zadaci nabave | 4 |
| Slika 2. Mjesto objedinjavanja | 10 |
| Slika 3. Mjesto razdvajanja | 11 |
| Slika 4. Cross-docking shema | 11 |
| Slika 5. Minimalne zalihe..... | 17 |
| Slika 6. Ključne komponente godišnjeg troška naručivanja | 23 |
| Slika 7. Ključne komponente godišnjeg troška zaliha skladištenja | 24 |
| Slika 8. Kontinuirani sustav kontrole zaliha | 26 |
| Slika 9. Periodički sustav kontrole zaliha | 27 |
| Slika 10. Grafički prikaz ABC analize..... | 29 |
| Slika 11. ROL i ROP su derivacije vremena isporuke narudžbe i razine potrebe | 31 |
| Slika 12. Sigurnosne zalihe (s)..... | 32 |
| Slika 13. Shema upravljanja zaliha | 34 |
| Slika 14. Usporedba zaliha nezavisne i zavisne potražnje | 37 |
| Slika 15. Promjena u EU27 vanjskoj razmjeni od veljače 2020 po mjesecima (uslijed pandemije i rata u Ukrajini)..... | 38 |
| Slika 16. Razvoj modela upravljanja zalihama | 39 |
| Slika 17. Troškovi zaliha..... | 41 |
| Slika 18. Suvremeni modeli upravljanja zalihama u funkciji integracije opskrbnog lanca | 44 |
| Slika 19. Planiranje resursa poduzeća pomoću ERP sustava | 46 |
| Slika 20. Rezultati upitnika | 55 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Odnos vrijednosti materijala i količini zaliha po pojedinim skupinama[14] | 28 |
| Tablica 2. Kontrola zaliha za ABC analizu[17] | 29 |
| Tablica 3. Primjer DRP tablice | 45 |
| Tablica 4. AI alati za sustave upravljanja zaliha..... | 53 |
| Tablica 5. Prednosti AI-a u ERP-u..... | 54 |

POPIS KRATICA

| | | |
|------------|---|--|
| AI | Artificial Intelligence | Umjetna inteligencija |
| B2B | Bussiness-to-Bussiness | Poslovanje između poduzeća |
| BOM | Bills of materials | Sastavnica materijala |
| CIPS | Chartered Institute of Procurement & Supply | Ovlašteni institut za nabavi i opskrbu |
| DRP | Distribution resource planning | Planiranje resursa distribucije |
| EOQ | Econimc Order quantit | Ekonomična količina nabave |
| ERP | Enteprise resource planning | Planiranje potreba poduzeća |
| ESM | Eleectrical Supply Management | Električno upravljanje opskrbom |
| ILM | Information Lifecycle Management | Upravljanje životnim ciklusom informacija |
| IPSO | Iterative Particle Swarm Optimization | Iterativna optimizacija roja čestica |
| JIT | Just in Time | Točno na vrijeme |
| ML | Machine learning | Strojno učenje |
| MRO | Maintenance, repair and operation | Održavanje, popravka i rad |
| MRP I | Material requarements planning | Planiranje materijalnih potreba |
| MRP II | Manufacturing resources planning | Planiranje materijalnih resursa |
| OPP | Order picking problems | Problem odabira narudžbi |
| PIM | Production and inventory management | Upravljanje proizvodnjom i zalihama |
| RFID | Radio-frequency indnetification | Identifikacija putem radio frekvencijskih valova |
| ROP | Re-order point | Točka ponovne narudžbe |
| SCM | Supply Chain Management | Upravljanje lancem opskrbe |
| SLAP | Storage location assignment problems | Problem dodjele skladišnih lokacija |
| SRM | Supplier Relationship Management | Upravljanje odnosa s dobavljačima |
| WMS | Warehouse management system | Sustav upravljanja skladištem |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|-----------------|----------|--|
| C_c | | Godišnji trošak |
| C_o | | Trošak po narudžbi |
| D | dan | Radni dani u godini |
| D | | Ukupna godišnja potražnja |
| n | | Broj prosječnih zaliha |
| P | | Planska prodaja |
| Q | | Veličina narudžbe |
| $Q/2$ | | Prosječna razina zaliha |
| Q_{db} | - | Dnevna prosječna potrošnja |
| Q_{god} | - | Godišnja prosječna potrošnja |
| Q_{opt} | | Optimalna veličina narudžbe |
| R | | Razina ponovne narudžbe |
| R_1 | | Rezerva za povećanje planske prodaje |
| R_2 | | Rezerva za povećanje normiranog broja dana |
| V | dan | Normirano vrijeme isporuke |
| V_{nab} | dan | Vrijeme nabave |
| Z | | Z-faktor |
| $Z_1 \dots Z_n$ | | Broj zaliha u intervalima |
| Z_{max} | | Maksimalna zaliha |
| Z_{min} | - | Minimalne zalihe |
| Z_{sig} | | Sigurnosne zalihe |

SAŽETAK

Ovaj rad istražuje suvremene metode upravljanja zalihama, uključujući implementaciju umjetne inteligencije i njezinu integraciju u ERP sustave. Naglašena je važnost optimizacije zaliha, smanjenja troškova i poboljšanja kvalitete usluga putem AI tehnologija. Rad također analizira utjecaj geopolitičkih čimbenika na opskrbne lance te predstavlja studije slučaja koje prikazuju uspješnu primjenu AI-a u praksi. Zaključak rada ističe kako modernizacija sustava upravljanja zalihama predstavlja ključni faktor za održavanje konkurentnosti poduzeća.

Ključne riječi: upravljanje zalihama, umjetna inteligencija, ERP, geopolitički čimbenici, optimizacija.

SUMMARY

This thesis explores modern inventory management methods, including the implementation of artificial intelligence and its integration into ERP systems. It highlights the importance of inventory optimization, cost reduction, and service quality improvement through AI technologies. The paper also examines the impact of geopolitical factors on supply chains and presents case studies demonstrating the successful application of AI in practice. The conclusion emphasizes that modernizing inventory management systems is a critical factor in maintaining business competitiveness.

Keywords: inventory management, artificial intelligence, ERP, geopolitical factors, optimization.

1. UVOD

Upravljanje zalihama predstavlja ključni aspekt uspješnog poslovanja u proizvodnim sustavima, omogućujući nesmetano odvijanje proizvodnih procesa i kontinuitet opskrbe. Optimalno upravljanje zalihama oduvijek je bilo izazov, osobito u današnjim uvjetima dinamičkih i globalno povezanih lanaca opskrbe. Događaji proteklih godina, poput poremećaja u opskrbnim lancima i povećane neizvjesnosti, dodatno su naglasili važnost efikasnog upravljanja zalihama i skladištem.

Ovaj rad istražuje širi okvir operacijskog menadžmenta s naglaskom na dvije ključne komponente: nabavu i upravljanje zalihama. Prikazat će se suvremeni koncepti nabave te modeli upravljanja zalihama, analizirajući kako se mogu optimizirati procesi unutar skladišnog poslovanja. Osim toga, rad će istražiti i prikazati načine primjene umjetne inteligencije (engl. Artificial Intelligence – u daljnjem dijelu teksta AI) u upravljanju zalihama i skladištem. Razvojem naprednih algoritama i tehnologija, AI nudi mogućnosti za prediktivno upravljanje zalihama, automatizaciju skladišnih operacija i donošenje bržih i preciznijih odluka.

Primjena umjetne inteligencije bit će detaljno analizirana kroz studije slučaja, s ciljem prikazivanja stvarnih primjera implementacije i evaluacije rezultata. Na ovaj način, rad će pružiti cjelovit uvid u moderne pristupe optimizaciji upravljanja zalihama, uz naglasak na inovacije koje donosi digitalna transformacija u području operacijskog menadžmenta.

2. NABAVA

2.1. Uvod u operacijski menadžment

Operacijski menadžment odnosi se na projektiranje, upravljanje i unapređenje produktivnih sustava koji omogućuju realizaciju proizvoda i usluga. U svojoj srži, operacijski menadžment pretvara ulazne resurse poput materijala, strojeva, rada, menadžmenta i kapitala u izlazne rezultate koji stvaraju vrijednost za korisnike. Ključna uloga operacijskih menadžera uključuje osiguranje kvalitete, projektiranje sustava, rješavanje problema, re-inženjering procesa, inovacije i integraciju tehnologija, sve s ciljem stvaranja dodane vrijednosti. Operacijski procesi mogu biti različiti – fizički, lokacijski, razmjenski, fiziološki, psihološki ili informacijski – ovisno o vrsti industrije ili usluge.[2]

Operacijski menadžment obuhvaća aktivnosti upravljanja resursima koji proizvode i isporučuju proizvode i usluge. Središnja je funkcija unutar organizacije jer upravo operacije stvaraju proizvode i usluge koji su svrha poslovanja. Uz operacijski menadžment, dvije su druge ključne funkcije: marketing, koji komunicira proizvode i usluge s tržištem, te razvoj proizvoda i usluga, koji generira buduće zahtjeve kupaca. Uz te temeljne funkcije, organizacije imaju i prateće funkcije poput financija i ljudskih resursa, koje omogućuju učinkovitost osnovnih operacija. U suvremenom poslovanju suradnja i učinkovitost među ovim funkcijama iznimno su važni, a operacijski menadžment igra ključnu ulogu u optimizaciji tih odnosa i procesa unutar organizacije.[1]

Pojam operacijskog menadžmenta evoluirao je od tradicionalnog „upravljanja proizvodnjom“ do šireg koncepta koji uključuje i pružanje usluga. Osnovni zadatak operacijskog menadžmenta je optimizacija poslovnih procesa kako bi se smanjili gubici, osigurala visoka kvaliteta i unaprijedila učinkovitost, uz istodobno zadržavanje fleksibilnosti i inovativnosti. Dva su ključna razloga za sve veću važnost operacijskog menadžmenta: prvi je fokus na optimizaciju i uklanjanje gubitaka, dok drugi proizlazi iz globalne konkurencije koja zahtijeva vrhunsku kvalitetu proizvoda i usluga. Poslovni uspjeh danas ovisi o sposobnosti poduzeća da se natječe u fleksibilnosti, učinkovitosti, kvaliteti i inovaciji, čineći operacijski menadžment presudnim za dugoročno poslovanje.[3]

Nakon upoznavanja s osnovama operacijskog menadžmenta, u nastavku rada obrađuju se ključni dijelovi koji su usko povezani s temom ovog istraživanja: nabava, upravljanje zalihama i skladištem. Ove funkcije imaju ključnu ulogu u optimizaciji poslovnih procesa i osiguravanju efikasnosti unutar organizacije, što je od iznimne važnosti za postizanje konkurentske prednosti.

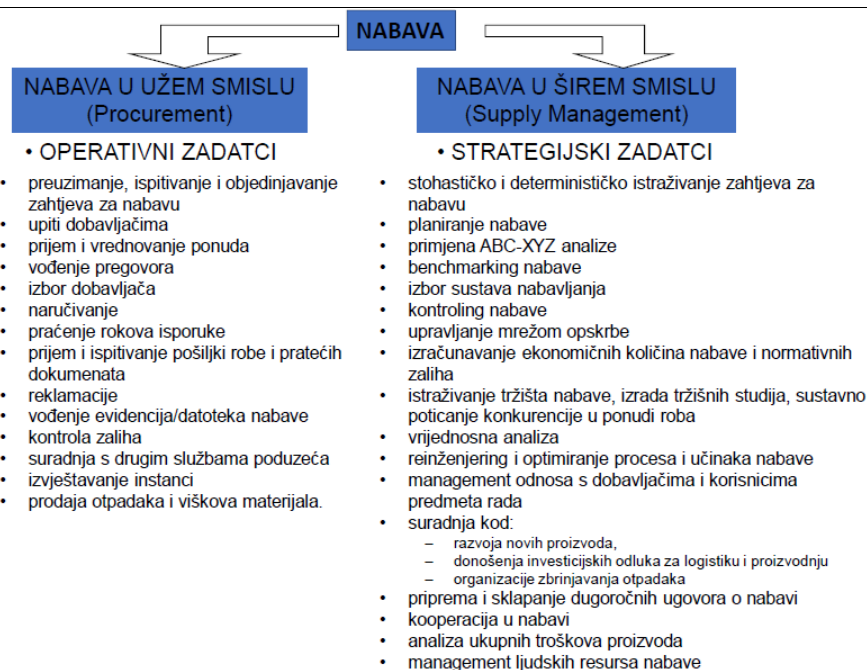
2.2. Pojam nabave

Početak kapitalizma i slobodne trgovine u 18. stoljeću doveo je do pojave manufakturnih radionica, što je potaknulo razvoj slobodnog poduzetništva i uvođenje papirnato novca u gospodarske transakcije. Početkom 20. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama nabava se počinje izdvajati iz proizvodnje, čime se uspostavlja kao zasebna funkcija unutar poduzeća. Međutim, stvaranje Sovjetskog Saveza 1922. godine negativno utječe na razvoj nabave, koja se tada svodi na administrativne aktivnosti. Tijekom Drugog svjetskog rata dolazi do intenzivnih istraživanja vezanih uz nabavu, dok 1970-ih godina nastupaju značajne promjene u organizaciji nabave, odnosima s dobavljačima te unaprjeđenju informacijskih sustava, što donosi novu dinamiku u upravljanju nabavnim procesima.[4]

Nabava je funkcija i djelatnost poduzeća koja se brine o opskrbi materijalima, opremom, uslugama i energijom potrebnima za realizaciju ciljeva poslovnog sustava. Pojmovi povezani s nabavom uključuju kupnju, logistiku, marketing nabave i opskrbu. U užem smislu, nabava se odnosi na operativne poslove u procesu pribavljanja potrebnih resursa, dok u širem smislu obuhvaća nabavu različitih materijala, sustava, trgovačke robe, usluga (poput održavanja, čišćenja, čuvarske službe, građevinskih i savjetodavnih usluga), prava (licence, franšize, najam, zakup), energije te sredstava za rad. [4]

Operativni poslovi nabave uključuju:

- ispitivanje zahtjeva drugih organizacijskih jedinica
- praćenje tržišta nabave
- izradu upita za dobavljače
- ispitivanje i ocjenu ponuda
- vođenje pregovora
- izbor najpovoljnijih ponuda
- praćenje rokova isporuke
- kontrolu računa
- podnošenje reklamacija
- vođenje evidencije o nabavi.



Slika 1. Zadaci nabave

Ovlašteni institut za nabavu i opskrbu u (eng. Chartered Institute of Procurement & Supply – u daljnjem dijelu teksta CIPS) Australia pokrenuo je raspravu o usuglašavanju leksikona za nabavu te su predložene sljedeće definicije. Nabava se definira kao funkcija upravljanja poslovanjem koja osigurava identifikaciju, izvor, pristup i upravljanje vanjskim resursima koje organizacija treba ili bi mogla trebati za ostvarivanje svojih strateških ciljeva. Cilj nabave je istražiti prilike na tržištu opskrbe i implementirati strategije nabave koje donose najbolje moguće rezultate za organizaciju, njezine dionike i kupce. Nabava se temelji na znanosti i umijeću upravljanja vanjskim resursima i opskrbom, pri čemu je to znanje primijenjeno od strane kompetentnih stručnjaka. Autor također nudi dvije dodatne definicije nabave. Nabava je proaktivna, strateška korporativna aktivnost koja osigurava kontinuiranu opskrbu dobrima i uslugama potrebnim za vrhunsku organizacijsku izvedbu. Nabava također upravlja rizicima u lancu opskrbe putem učinkovitih pregovora o ugovorima, modelima troškova i cijena, kvaliteti i drugim ključnim karakteristikama opskrbe.[5]

Prema Investopediji, upravljanje lancem opskrbe (Supply Chain Management – u daljnjem dijelu teksta SCM) definira se kao upravljanje protokom dobara i usluga te uključuje sve procese koji transformiraju sirovine u konačne proizvode. SCM podrazumijeva aktivno optimiziranje aktivnosti na strani opskrbe kako bi se maksimizirala vrijednost za kupca i stekla konkurentna prednost na tržištu. Techopedia definira SCM kao upravljanje i nadzor nad proizvodom od njegovog izvora do potrošnje. To uključuje protok materijala, financija i informacija, uz obuhvaćanje dizajna proizvoda, planiranja, izvođenja, praćenja i kontrole.[5]

2.3. Suvremeni koncepti nabave

U ovom podnaslovu obraditi će se neki od suvremenih koncepata nabave:

- e-nabava (engl. *e-procurement*)
- upravljanje odnosima s dobavljačima (engl. *Supplier Relationship Management*)
- održiva nabava (engl. *Sustainable procurement*)
- JIT nabava (eng. Just-in-Time procurement)
- blockchain
- upravljanje životnim ciklusom informacija (engl. *Information Lifecycle Management*)
- geopolitika i nabava.

2.3.1. E-nabava (E-procurement)

E-nabava je dio poslovanja između poduzeća (eng. Business to Business – u daljnjem dijelu teksta B2B) koje se provodi putem interneta, gdje kupci obavljaju kupnje izravno od dobavljača preko njihovih web stranica, koristeći softverske pakete ili kroz e-tržnice, e-hubove i burze. Internet može pojednostaviti i ubrzati proces narudžbi i transakcija između tvrtki. Prednosti uključuju niže transakcijske troškove povezane s nabavom, niže cijene dobara i usluga, smanjenje troškova rada (administrativnog osoblja) te brže naručivanje i isporuku.

Kupnje koje poduzeća obavljaju putem interneta mogu se razvrstati u dvije glavne kategorije: ulazi u proizvodnju (izravni proizvodi) i operativni ulazi (neizravni proizvodi). Izravni proizvodi su sirovine i komponente koje izravno ulaze u proces proizvodnje proizvoda. Budući da su obično specifični za određenu industriju, kupuju se od dobavljača i distributera specifičnih za tu industriju te često zahtijevaju specijaliziranu dostavu. Neizravni proizvodi ne ulaze izravno u proizvodnju gotovih proizvoda. To su dobra i usluge za održavanje, popravke i rad (Maintenance, repair and operation – u daljnjem dijelu teksta MRO). Oni obično nisu specifični za industriju; uključuju stvari poput uredskog materijala, računala, namještaja, usluga čišćenja i avionskih karata. Više poduzeća sklono je kupovati neizravna dobra i usluge putem interneta nego izravna dobra. Jedan od razloga je što poduzeća ne moraju biti toliko oprezna s neizravnim dobrima, budući da su ona obično jeftinija od izravnih proizvoda i ne utječu izravno na kvalitetu konačnog proizvoda poduzeća. Tvrtke koje kupuju izravna dobra putem interneta obično to čine preko dobavljača s kojima već imaju uspostavljen odnos.[2]

2.3.2. Upravljanje odnosima s dobavljačima

Upravljanje odnosima s dobavljačima (eng. Supplier Relationship Management – u daljnjem dijelu teksta SRM) ključna je komponenta modernih operacija u lancima opskrbe. U današnjem

globaliziranom poslovnom okruženju, gdje su lanci opskrbe sve složeniji i međusobno povezani, od esencijalne je važnosti jačanje veza s dobavljačima. Proces SRM-a obuhvaća niz aktivnosti usmjerenih na razvijanje obostrano korisnih odnosa s dobavljačima, uključujući odabir dobavljača, razvoj strategije za dobavljače, praćenje njihovih performansi i njegovanje dugoročnih partnerstava. Ovaj pristup nadmašuje običnu transakcijsku razmjenu i fokusira se na stvaranje trajnih odnosa koji donose vrijednost za obje strane. Uvođenjem učinkovitih praksi SRM-a, tvrtke mogu poboljšati učinkovitost lanca opskrbe, smanjiti troškove, umanjiti rizike i na kraju pružiti vrhunske proizvode i usluge svojim kupcima.

Primarni cilj SRM-a je stvaranje vrijednosti za organizaciju optimiziranjem njezinih interakcija s dobavljačima. Ključne komponente SRM-a uključuju procjenu, segmentaciju i odabir dobavljača. Procjena dobavljača uključuje ocjenu njihovih snaga, slabosti, sposobnosti, pouzdanosti, kvalitete, cijena i odziv kako bi se donijele informirane odluke. Segmentacija dobavljača omogućuje organizacijama prilagodbu strategija angažmana temeljenih na sposobnostima dobavljača i vrsti proizvoda ili usluga koje nude, osiguravajući odabir pravog dobavljača za specifične potrebe. SRM također obuhvaća proces odlučivanja o uključivanju novih dobavljača u mrežu, kada je to potrebno, kako bi se pristupilo boljim proizvodima, uslugama ili tehnologijama. Osim toga, strategije pregovaranja i sposobnost upravljanja prekidom odnosa s dobavljačima kada je to potrebno ključne su komponente SRM procesa. Fokusiranjem na ove komponente, organizacije mogu poboljšati svoju konkurentnost, smanjiti rizike i poboljšati ukupnu izvedbu lanca opskrbe. [6]

2.3.3. Održiva nabava

Održiva nabava postala je ključni element globalnih poslovnih praksi od 1980-ih godina, s ciljem smanjenja negativnih utjecaja na okoliš koji proizlaze iz proizvodnje i potrošnje proizvoda. Ovaj koncept postao je posebno važan u Nizozemskoj 2005. godine, kada je nizozemska vlada odlučila iskoristiti svoju godišnju potrošnju od više od 10 milijardi eura kako bi potaknula tržište održivih proizvoda i usluga te postavila primjer ostalim zemljama. Istraživanja su pokazala da održiva nabava može biti moćan alat politike koji pomaže u postizanju društvenih ciljeva, potičući napredak održivosti i stvaranje tržišta koje odgovara na izazove zaštite okoliša i društvene odgovornosti. Vanjski pritisci, kao što su zakonske regulative i očekivanja društva, često su ti koji pokreću organizacije na angažman u održivoj nabavi. Međutim, za uspješan prijelaz na održivu nabavu, od ključne je važnosti da organizacije unutar svojih struktura implementiraju odgovarajuće promjene, uklone prepreke i razviju unutarnje kapacitete.

Jedan od najvećih izazova u implementaciji održive nabave je prepoznavanje i prevladavanje organizacijskih prepreka. Prema analizi literature, postoje tri ključna faktora unutar organizacija koji utječu na uspjeh održive nabave: predanost čelnih ljudi, podrška vrhunskog menadžmenta i stručnost zaposlenika. Premda ovi faktori imaju prepoznatljiv utjecaj na uspješnost održive nabave, često se zanemaruje kako oni konkretno oblikuju stupanj implementacije održivih praksi. Studije slučaja u okviru javnih nabavnih projekata nizozemske vlade pružaju uvid u to kako organizacijski faktori mogu utjecati na uspjeh održive nabave. Ove studije ne samo da identificiraju ključne faktore, već i objašnjavaju kako oni oblikuju konkretne odluke i postupke u procesu nabave, čime pružaju korisne smjernice za buduće istraživanje i razvoj održivih nabavnih praksi.[7]

2.3.4. JIT nabava

Točno na vrijeme (eng. Just-in-Time – u daljnjem dijelu teksta JIT) sustav temelji se na Kanban sustavu, a glavna razlika između njih očituje se u orijentaciji. Dok Kanban sustav promatra potrošnju, JIT sustav fokusira se na potrebe kupaca. JIT je posebno primjenjiv za proizvode koji imaju visok udio u potrošnji, jer omogućava usklađivanje proizvodnog procesa i organiziranje cijelog lanca. S obzirom na to, JIT sustav funkcionalno vuče korijene iz Kanban sustava, jer se temelji na principu "proizvodi ono što će sutra biti potrebno". To znači da dok Kanban gledajući na prošlost osigurava proizvodnju prema trenutačnim potrebama, JIT anticipira buduće zahtjeve, čime omogućava efikasnije upravljanje proizvodnjom i smanjenje viškova zaliha.

Za uspješno funkcioniranje JIT sustava nužno je dobro planirati dnevne programe i ostvariti besprijekornu komunikaciju između dobavljača i kupca. Sustav zahtijeva isporuku materijala koji odgovaraju specifičnim standardima kvalitete i količine, točno u trenutku kad su potrebni za nastavak proizvodnje. Ključne komponente uspjeha uključuju osiguranje isporuke materijala bez grešaka, usklađivanje kapaciteta u cijelom proizvodnom lancu, visoku pouzdanost dobavljača, proizvodnju u malim serijama, te učinkovitu prometnu infrastrukturu. Osim toga, u slučaju neispunjavanja preduvjeta, potrebno je imati rezervni plan, uključujući dodatne dobavljače koji mogu preuzeti narudžbe i osigurati nesmetano snabdijevanje. Ovaj sustav je pogodan za proizvode stabilne potrošnje, jer omogućava precizno planiranje i usklađivanje potrebnih kooperanata. Iako JIT donosi mnoge prednosti kupcima, uključujući smanjenje troškova i povećanje efikasnosti, također donosi koristi dobavljačima, poput jačanja tržišnog položaja i osiguravanja dugoročnih ugovora koji omogućuju stabilan plasman proizvoda.

2.3.5. Blockchain

Suvremeni sustavi nabave sve se više oslanjaju na blockchain tehnologiju kako bi osigurali sigurnost, pouzdanost i transparentnost transakcija. Blockchain omogućuje stvaranje integriranog sustava koji povezuje ključne dionike, uključujući dobavljače, kupce i izvršitelje dostave, bez potrebe za posrednicima ili dodatnim platnim sustavima. U ovakvom sustavu transakcije se obavljaju putem pametnih ugovora koji automatski validiraju i izvršavaju transakcije prema definiranim uvjetima. Tehnologije poput "Ethereum", "Metamask", "Truffle" i "Ganache" koriste se za izgradnju i funkcioniranje ovih sustava, dok blockchain osigurava zapis svih transakcija i podatke pohranjuje u blokove, čime se osigurava autentičnost i integritet procesa.

Procesi unutar sustava obuhvaćaju nabavu od domaćih ili stranih dobavljača, prijevoz robe, prihvata u skladištu i automatsku isplatu putem pametnih ugovora. End korisnici mogu pratiti tijek transakcija, što omogućuje sigurnu kupoprodaju. Ovaj pristup čini sustav nabave učinkovitijim i prilagođenim suvremenim potrebama tržišta, dok istovremeno jača povjerenje između sudionika i osigurava smanjenje gubitaka u financijama ili robi. Blockchain tehnologija na taj način postaje ključni alat za modernizaciju nabavnih procesa i unaprjeđenje poslovanja.[10]

2.3.6. Upravljanje životnim ciklusom informacija

Elektronički sustavi upravljanja nabavom omogućuju značajnu transformaciju tradicionalnih metoda nabave integracijom informacijsko-komunikacijskih tehnologija i modernih teorija poput upravljanja životnim ciklusom informacija (eng. Information Lifecycle Management – u daljnjem dijelu teksta ILM). Ovi sustavi koriste e-trgovinske tehnologije kako bi pojednostavili proces nabave kroz cijeli lanac opskrbe, smanjujući troškove i ubrzavajući procese. Ključne prednosti uključuju niže troškove nabave, kraće cikluse narudžbi, smanjenje razine zaliha i transparentnost u svim fazama nabavnog procesa. Uvođenje ovakvih sustava omogućava poduzećima brže donošenje odluka i učinkovitije upravljanje resursima, čime se postižu dugoročne strateške prednosti.

Moderni pristupi, poput e-nabave i elektroničkog upravljanja opskrbom (eng. Electronical Supply Management – u daljnjem dijelu teksta ESM), temelje se na primjeni internetskih tehnologija i analitike za automatizaciju i optimizaciju procesa nabave. Ovi sustavi uključuju korištenje alata kao što su elektronički katalogi, online nadmetanja i aplikacije za planiranje resursa poduzeća (eng. Enterprise Resource Planning – u daljnjem dijelu teksta ERP). Također,

omogućuju stvaranje čvrstih strateških odnosa između dobavljača i kupaca kroz integraciju njihovih sustava putem interneta, čime se osigurava prilagodljivost promjenama potražnje. Kombinacija informatičke podrške i teorije životnog ciklusa informacija postaje ključna za postizanje održivosti i konkurentske prednosti u suvremenom upravljanju nabavom.[11]

2.3.7. Geopolitika i nabava

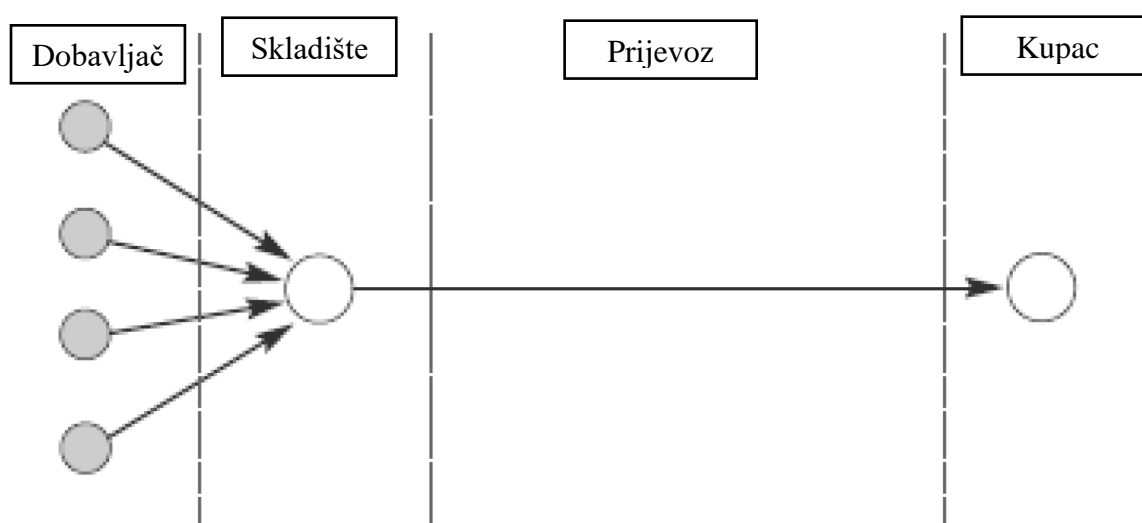
Uvođenje geopolitičkih čimbenika sve više utječe na odluke o globalnoj nabavi i lancima opskrbe zbog rastuće složenosti i neizvjesnosti globalne poslovne scene. Tvrtke se suočavaju s pritiscima na smanjenje troškova dok istovremeno moraju povećati otpornost svojih lanaca opskrbe. Geopolitički rizici, uključujući trgovinske napetosti, restrikcije izvoza i političke nestabilnosti, zahtijevaju novu strategiju koja balansira između fleksibilnosti i optimizacije troškova. U uvjetima neizvjesnosti, organizacije su prisiljene preispitati svoje mreže opskrbe kako bi zadržale pristup ključnim tržištima i osigurale kontinuitet opskrbe, unatoč rastućim izazovima.

Razmatranje geopolitičkog konteksta postaje ključno u definiranju modernih pristupa nabavi. S obzirom na sve veću potrebu za diversifikacijom, tvrtke sada preispituju svoje odluke o lokacijama proizvodnje i dobavljača kako bi bolje upravljale rizicima. Nove strategije uključuju korištenje digitalnih alata i umjetne inteligencije za procjenu i optimizaciju lanaca opskrbe, omogućujući organizacijama brže reagiranje na promjene. Ova promjena paradigme ukazuje na važnost integracije geopolitičkih uvida u poslovne planove kako bi se dugoročno očuvala otpornost i poslovna održivost.[9]

3. UPRAVLJANJE SKLADIŠTEM

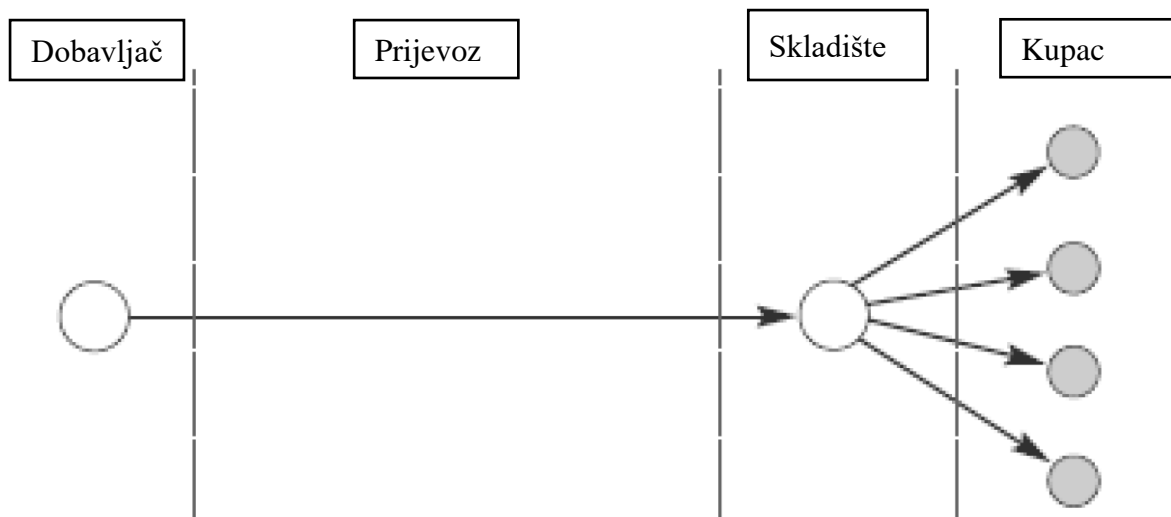
Upravljanje skladištem podrazumijeva organizaciju i kontrolu svih aktivnosti unutar skladišta, osiguravajući optimalno funkcioniranje svih procesa. To uključuje raspored skladišta i zaliha, održavanje i upotrebu odgovarajuće opreme, upravljanje novim zalihama koje ulaze u objekt, te odabir, pakiranje i otpremu narudžbi. Osim toga, upravljanje skladištem uključuje praćenje i kontinuirano poboljšavanje ukupnih performansi skladišnih operacija, čime se osigurava učinkovitost i pouzdanost u radu skladišnog sustava. [12]

Upravljanje skladištem ključno je za učinkovito funkcioniranje logističkih lanaca, jer omogućuje skladištima ne samo da budu mjesta čuvanja zaliha već i da djeluju kao integracijski čvorovi u procesima opskrbe. Skladišta danas imaju mnogo širu ulogu od tradicionalnog skladištenja, uključujući aktivnosti poput označavanja cijena, pakiranja, završne montaže i pregrupiranja robe. Ova mjesta objedinjavanja (eng. consolidation) omogućuju smanjenje troškova prijevoza kroz konsolidaciju pošiljki,



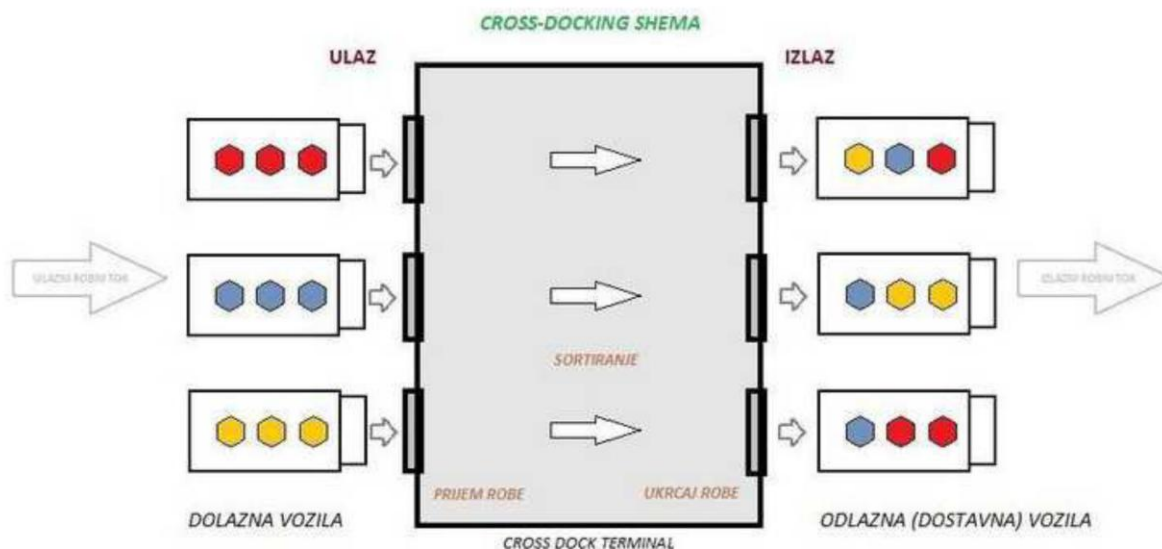
Slika 2. Mjesto objedinjavanja

dok aktivnosti poput razdvajanja velikih pošiljki (eng. break-bulk) omogućuju distribuciju velikih pošiljki u manje jedinice za pojedinačne kupce.



Slika 3. Mjesto razdvajanja

Osim toga, moderni sustavi poput prijenosa robe bez skladištenja (eng. cross-dockinga) smanjuju zalihe i ubrzavaju protok materijala, često eliminirajući potrebu za dugotrajnim skladištenjem. Skladišta su danas ključni element strategije logistike, jer utječu na razinu zaliha, uslugu kupcima i produktivnost poslovanja. [12]



Slika 4. Cross-docking shema

Primjena računalnih sustava za upravljanje skladištem (eng. Warehouse management System – u daljnjem dijelu teksta WMS) dodatno unapređuje učinkovitost skladišnih operacija. WMS omogućuje automatizaciju procesa poput odlaganja robe, komisioniranja, praćenja zaliha i optimizacije logističkih tokova. Napredni sustavi oslanjaju se na tehnologije poput bar-kodova,

identifikaciju putem radio-frekvencijskih signala (eng. Radio-Frequency Identification – u daljnjem dijelu teksta RFID-a) i sustava biranja pomoću svjetlosnih signala (eng. pick to light) i odabira pomoću glasovnih naredbi (eng. pick by voice), čime se postiže brža i preciznija obrada narudžbi. Uz to, implementacija algoritama za optimizaciju ruta i grupiranje narudžbi značajno smanjuje troškove i povećava točnost operacija. Skladišni sustavi danas su također usklađeni s konceptima Industrije 4.0, uključujući integraciju autonomnih mobilnih robota za prijenos robe. Ovi sustavi ne samo da povećavaju produktivnost, već omogućuju bolje korištenje prostora i opreme, što dovodi do održivijeg i isplativijeg poslovanja. Za potpuni prikaz modernog skladišnog upravljanja, preporučuje se uključivanje ilustracija poput dijagrama toka cross-docking operacija ili primjera organizacije prostora uz pomoć WMS sustava. [12]

3.1. Kategorije troškova skladišta

Upravljanje skladištem zahtijeva pažljivo planiranje i kontrolu različitih kategorija troškova koje proizlaze iz njegovog svakodnevnog funkcioniranja. Troškovi se mogu podijeliti u četiri osnovne kategorije, od kojih svaka predstavlja ključni aspekt ukupnog upravljanja troškovima skladišnog sustava:

1. Rukovanje materijalom: Troškovi rukovanja obuhvaćaju sve troškove povezane s kretanjem robe unutar skladišta, bilo prilikom ulaska, pohranjivanja, odabira narudžbi ili otpreme. Glavni dio tih troškova čine radni sati zaposlenika angažiranih na ovim zadacima, kao i troškovi ponovnog skladištenja ili popravka oštećenih proizvoda. Osim rada, u ovu kategoriju ulaze i troškovi opreme za rukovanje, uključujući amortizaciju opreme, gorivo ili električnu energiju potrebnu za njezin rad. Dodatni troškovi mogu uključivati operativne zalihe, zbrinjavanje otpada i naknade za zadržavanje kamiona ili željezničkih vagona. Ova kategorija objedinjuje sve troškove povezane s „kretanjem robe“.
2. Pohrana robe: Troškovi pohrane odnose se na troškove povezane s „mirovanjem robe“. Ovi troškovi nastaju bez obzira na to je li proizvod u pokretu ili ne. Najčešće se izražavaju kao mjesečni troškovi i uključuju troškove zauzimanja prostora, najamnine ili vlasništva nad objektom, te povezane komunalije. Ako je cijeli objekt posvećen jednom skladišnom procesu, tada troškovi pohrane obuhvaćaju ukupne troškove održavanja objekta.

3. **Operativna administracija:** Ova kategorija obuhvaća troškove potrebne za podršku radu distribucijskog centra. Troškovi uključuju nadzor linija, administrativne poslove, informatičku podršku, osiguranje i poreze. Riječ je o troškovima koji bi se eliminirali u slučaju zatvaranja objekta.
4. **Opći administrativni troškovi:** Opći troškovi uključuju one koji nisu izravno povezani s određenim distribucijskim centrom. To obuhvaća opće menadžerske troškove, troškove neoperativnog osoblja te opće uredske troškove. Alokacija ovih troškova po skladištima zahtijeva pažljivo planiranje i često je stvar subjektivne procjene.

Kroz detaljno praćenje i upravljanje navedenim kategorijama troškova, moguće je značajno optimizirati skladišne operacije i smanjiti ukupne troškove logistike. [13]

3.2. Potreba za skladištenjem

Skladištenje je ključni element logističkog lanca, a njegova je važnost očigledna u različitim aspektima poslovanja i opskrbe. Jedan od glavnih razloga za potrebu skladištenja je sezonska proizvodnja, primjerice kod poljoprivrednih proizvoda, koji se beru u određenim razdobljima, ali se koriste tijekom cijele godine. Skladišta omogućuju pravilno čuvanje ovih proizvoda i njihovu distribuciju prema potrebi. Slično tome, sezonska potražnja za određenim proizvodima, poput zimskih kaputa ili kišobrana, zahtijeva skladištenje tijekom godine kako bi bili dostupni u razdobljima povećane potražnje.

Još jedan važan razlog za skladištenje je masovna proizvodnja. Proizvođači često proizvode velike količine robe kako bi smanjili troškove proizvodnje po jedinici i ostvarili ekonomiju obujma. Takvi proizvodi moraju se adekvatno skladištiti dok ne budu prodani. Skladištenje također osigurava brzu opskrbu jer omogućuje blizinu robe krajnjim potrošačima, smanjujući kašnjenja u isporuci. Kontinuirana proizvodnja u tvornicama zahtijeva stalnu dostupnost sirovina, što čini skladištenje ključnim za nesmetano odvijanje proizvodnih procesa. Osim toga, skladištenje igra važnu ulogu u stabilizaciji cijena na tržištu. Skladištenjem viškova ili osiguravanjem zaliha tijekom nestašice, sprječavaju se velike fluktuacije cijena, čime se održava ravnoteža ponude i potražnje. [13]

3.3. Lokacija skladišta

Lokacija skladišta igra ključnu ulogu u učinkovitosti logističkog lanca, jer utječe na troškove prijevoza, skladištenja i razinu usluge kupcima. S obzirom na to da nijedan prodavatelj ne može biti jednako blizu svim svojim kupcima, odabir optimalne lokacije postaje kritičan proces.

Izazovi povezani s odabirom lokacije uključuju postavljanje skladišnog sustava na mjestu proizvodnje, na središnjoj udaljenoj lokaciji ili na više različitih mjesta. Optimalna lokacija trebala bi omogućiti maksimalni povrat ulaganja na dulji rok, uzimajući u obzir prirodu proizvodnog procesa, dostupnost sirovina, tržište rada i blizinu kupaca. Ključni troškovi koji utječu na odabir uključuju troškove prijevoza ulaznih materijala, troškove distribucije gotovih proizvoda i troškove samog skladišta.

Prilikom odabira lokacije potrebno je procijeniti čimbenike poput prometne povezanosti, kvalitete infrastrukture, dostupnosti komunalnih usluga, troškova radne snage i industrijskih odnosa. Također, važna je fleksibilnost skladišta za buduća proširenja i prilagodbe. Idealna skladišta trebala bi biti smještena na prikladnim mjestima blizu prometnih čvorišta, opremljena mehaničkim uređajima za rukovanje robom, imati adekvatne hladnjače za čuvanje kvarljive robe te biti opremljena modernim sigurnosnim sustavima i sustavima za gašenje požara. Sve ove karakteristike omogućuju učinkovitije upravljanje skladištem, smanjenje operativnih troškova i povećanje razine zadovoljstva kupaca. [13]

4. UPRAVLJANJE ZALIHAMA

Dosadašnja analiza obuhvatila je ključne koncepte operacijskih istraživanja, procesa nabave i njezinih suvremenih koncepata, kao i upravljanja skladištem. Posebna pažnja posvećena je razumijevanju troškova skladištenja, odabiru optimalne lokacije i važnosti skladišta u logističkim procesima. Ovi elementi čine osnovu za učinkovitost lanca opskrbe, povezujući strateško planiranje s operativnim aktivnostima.

Slijedi dublja analiza ključnog dijela upravljanja lancem opskrbe – upravljanja zalihama. Upravljanje zalihama ne može se promatrati izolirano, jer je usko povezano s procesima skladištenja i nabave. Zalihe ovise o dostupnosti skladišnog prostora i učinkovitosti procesa nabave. U ovom poglavlju istražiti će se modeli upravljanja zalihama, njihova primjena u praksi, digitalizacija procesa upravljanja zalihama te specijalizirani programi koji omogućuju optimizaciju ovih aktivnosti. Upravljanje zalihama ključan je element za postizanje ravnoteže između potražnje i ponude te za osiguranje održivog i ekonomičnog poslovanja.

4.1. Pojam zaliha

Zalihe, često nazvane „inventory“ ili „stock“ u engleskom jeziku, predstavljaju akumulaciju materijalnih resursa unutar sustava transformacije. U kontekstu poslovanja, pojam zaliha obično se odnosi na transformirane resurse, kao što su sirovine u proizvodnji, informacije u uredima ili čak kupci u uslužnim djelatnostima. Primjerice, proizvodna poduzeća skladište sirovine, poluproizvode i gotove proizvode, dok trgovine i kućanstva skladište različite artikle za redovitu potrošnju. Kada se zalihe odnose na kupce u procesu, često se nazivaju „redovima čekanja“. Osnovna svrha upravljanja zalihama je osigurati da se zadovolje potrebe kupaca i osigura kontinuitet poslovnih procesa. [1]

U proizvodnom sustavu zalihe se mogu usporediti s uljem u stroju. Nedostatak ulja uzrokuje kvar, dok prekomjerna količina ulja ili njegovo curenje dovodi do zastoja i dodatnih troškova. Slično tome, zalihe su nužne za kontinuiranu opskrbu, ali je ključno održavati optimalnu razinu kako bi se izbjegli troškovi viška ili nestašice. U idealnim uvjetima, zalihe bi trebale teći kao rijeka, gdje se njihova vrijednost progresivno povećava kroz proizvodne procese. Upravljanje zalihama omogućuje dodavanje vrijednosti i doprinosi učinkovitosti cijelog sustava.[3]

Zalihe mogu poprimiti različite oblike, od gotovih proizvoda spremnih za prodaju do sirovina, dijelova i opreme. U logističkim sustavima razlikuju se zalihe sirovina i materijala, poluproizvoda, dijelova, gotovih proizvoda i trgovačke robe. Upravljanje zalihama također uključuje procese poput određivanja količina za skladištenje, vremena za naručivanje i metoda

za nadopunu zaliha. Pojam zaliha obuhvaća i robu u transportu, alate te opremu potrebnu za kontinuiranu proizvodnju.[14]

Konačno, svrha zaliha nije samo zadovoljavanje potreba krajnjih korisnika već i podrška proizvodnim procesima kroz održavanje optimalnih količina sirovina i drugih resursa. Učinkovito upravljanje zalihama omogućuje poduzećima optimizaciju troškova, osiguranje kontinuiteta proizvodnje i zadovoljenje potražnje tržišta. Zalihe su stoga nezaobilazan dio modernih logističkih i proizvodnih sustava, a njihova uloga je presudna za uspješno poslovanje.[2]

Drugim riječima, svi materijali koji se u nekom trenutku nalaze unutar lanca opskrbe smatraju se zalihama. S toga možemo definirati osnovnu podjelu zaliha prema stupnju obrade[15]:

- sirovine (eng. Raw materials) . materijali i komponente namijenjene za proizvodnju
- poluproizvodi (eng. Work-in-process) – materijali i komponente koji su počeli svoju transformaciju u gotove proizvode
- gotovi proizvodi (eng. Finished goods) – završeni proizvodi koji su spremni za prodaju

Neki materijali ne spadaju u glavne kategorije (sirovine, poluproizvodi i gotovi proizvodi), a također s vrlo često nalaze u poduzećima, pa se mogu navesti i dodatne kategorije: [15]

- zamjenski dijelovi (eng. Spare parts) – dodatni dijelovi za strojeve, opremu, alati ...
- potrošni materijal (eng. consumables) – goriva, maziva i papir ...

4.1.1. Vrste zaliha

Pojava zaliha unutar lanca opskrbe događa se u brojnim različitim mjestima, unutar samog poduzeća ili izvan njega. Iako neke definicije o zalihama govore kako su zalihe samo materijali u mirovanju, također se zalihama smatraju i materijali u kretanju – zalihe u tranzitu, prijevozu ili transportu (eng. Inventory in transit)[15]

Stoga se ovisno o stvarnim i planiranim količinama zaliha, one se mogu definirati na sljedeći način [15]:

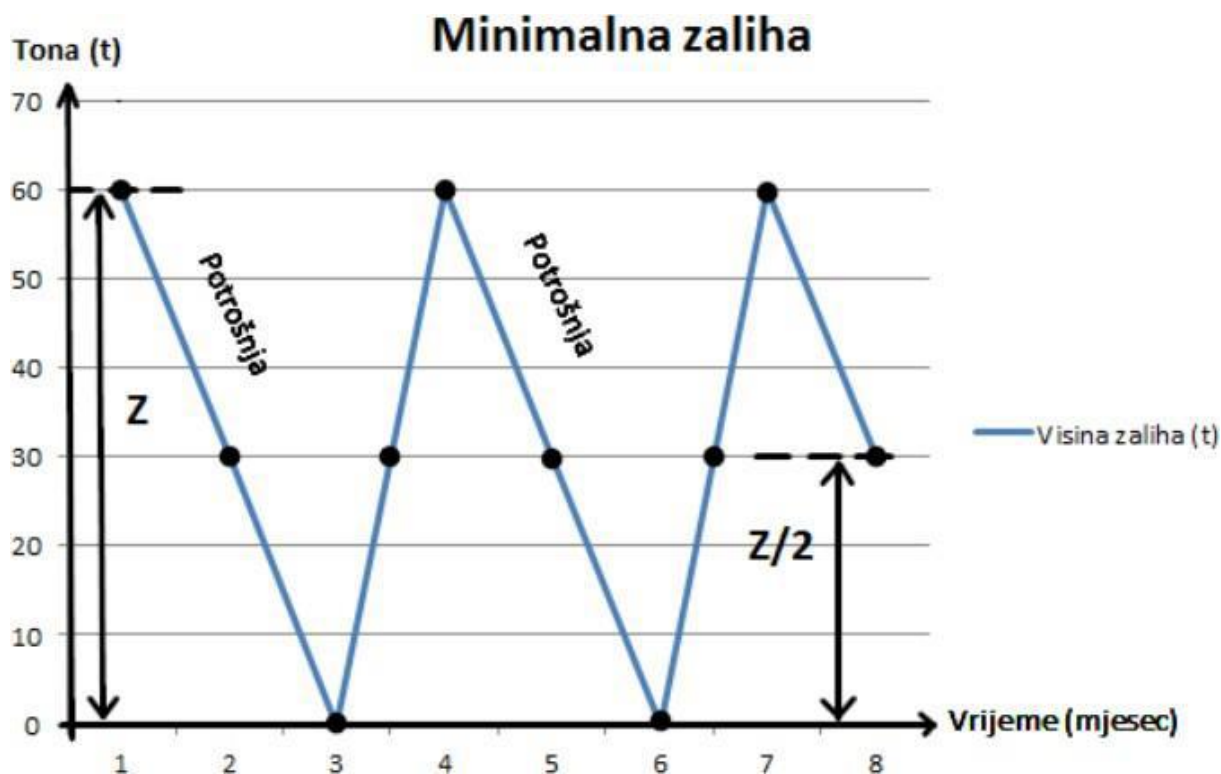
- minimalne zalihe
- maksimalne zalihe
- optimalne zalihe
- prosječne zalihe
- sigurnosne zalihe
- špekulativne zalihe

- sezonske zalihe
- promocijska zaliha
- nekurentne zalihe.

4.1.1.1. Minimalna zaliha

Minimalne zalihe predstavljaju najnižu količinu robe potrebnu za nesmetano funkcioniranje poduzeća i zadovoljavanje potreba kupaca. Održavanje minimalnih zaliha ključno je kako bi se spriječili prekidi u proizvodnji ili poteškoće u opskrbi potrošača. Ova razina zaliha posebno je važna za proizvodna i trgovačka poduzeća s redovitom i nepromjenjivom potrošnjom, gdje oscilacije u zalihama mogu izazvati zastoje ili povećane troškove.

Za održavanje minimalnih zaliha ključno je imati pouzdane dobavljače koji mogu osigurati pravovremenu isporuku robe. Kako bi se precizno utvrdila razina minimalnih zaliha, potrebno je analizirati dnevnu potrošnju ili prodaju robe te uzeti u obzir vrijeme potrebno za nabavu. Na taj način, poduzeća mogu minimizirati rizik od nedostatka zaliha, održati kontinuitet poslovanja i smanjiti potencijalne troškove nastale zbog kašnjenja u opskrbi. [14]



Slika 5. Minimalne zalihe

Minimalne zalihe Z_{min} se definiraju kao umnožak dnevne (prosječne) potrošnje Q_{dn} s vremenom nabave V_{nab} ili kao razlomak gdje u brojniku imamo umnožak godišnje (prosječne) potrošnje Q_{god} i vremena nabave V_{nab} dok je u brojniku broj radnih dana u godini D (1)

$$Z_{min} = Q_{dn} \times V_{nab} \text{ ili } Z_{min} = \frac{Q_{god} \times V_{nab}}{D} \quad (1)$$

4.1.1.2. Maksimalne zalihe

Maksimalne zalihe označavaju gornju granicu količine robe u skladištu, iznad koje se u određenom razdoblju ne smije nabavljati dodatna roba jer to može biti ekonomski nepovoljno za poduzeće. Takve zalihe su posebno važne za poduzeća s promjenjivom proizvodnjom ili potražnjom tijekom godine, jer im omogućuju zaštitu od potencijalne nestašice robe i osiguravaju sposobnost ispunjavanja svih narudžbi. Međutim, maksimalne zalihe dolaze s visokim troškovima skladištenja zbog potrebe za korištenjem svih kapaciteta skladišta, uključujući i posljednje raspoložive prostore.

Održavanje maksimalnih zaliha nosi rizike poput zastarijevanja, kvarenja ili gubitka materijala. Prekomjerne zalihe povećavaju operativne troškove skladištenja i smanjuju ukupnu ekonomičnost poslovanja. Iako ova strategija omogućuje fleksibilnost i sigurnost u ispunjavanju potražnje, ključno je pronaći ravnotežu koja minimizira troškove, a istovremeno osigurava kontinuiranu dostupnost proizvoda. Tako poduzeća optimiziraju svoje zalihe, smanjujući rizik od zastoja u opskrbi, ali i sprječavajući stvaranje viškova koji negativno utječu na profitabilnost. [14], [16]

Maksimalne zalihe se mogu definirati kao vrijednost najveće planirane prodaje po danima odabranog razdoblja uvećanog s normom dani (2):

$$Z_{max} = \frac{\text{Vrijednost najveće planirane prodaje}}{\text{dani odabranog razdoblja}} \times \text{norma dana} \quad (2)$$

4.1.1.3. Optimalne zalihe

Optimalne zalihe predstavljaju idealnu količinu robe u skladištu koja osigurava kontinuiranu proizvodnju i opskrbu potrošača uz minimalne troškove skladištenja i naručivanja. Ova razina zaliha smatra se najpoželjnijom i najekonomičnijom jer omogućuje smanjenje ukupnih troškova poslovanja i istovremeno osigurava nesmetano odvijanje procesa. Poduzeća nastoje dosegnuti ovu razinu zaliha kako bi postigla optimalan omjer između troškova i koristi, čime osiguravaju održivost i učinkovitost poslovnih operacija. [14]

Postizanje optimalnih zaliha zahtijeva pažljivo planiranje i praćenje ključnih čimbenika poput troškova skladištenja, nabave i opreme. Kontakt s dobavljačima, korištenje metoda poput Just-In-Time (JIT) i praćenje tržišnih trendova značajno olakšavaju postizanje ove razine zaliha. Pri izračunu optimalnih zaliha uzimaju se u obzir i prostorno-vremenski aspekti, a ključni preduvjet za uspješnu implementaciju je određivanje zaliha koje stvaraju najniže moguće troškove. Ovaj pristup omogućuje poduzećima da maksimiziraju koristi od svojih zaliha i osiguraju održivu konkurentsku prednost.[16]

Optimalne zalihe možemo definirati kao proizvod između planske prodaje P i normiranog vremena isporuke V , uz dodatak rezervi za neočekivane situacije R_1 i R_2 (3):

$$Z_{opt} = (P + R_1) \times (V + R_2) \quad (3)$$

Varijablu P definiramo kao dnevna ili mjesečna planska prodaja gotovih proizvoda izraženih u količini ili vrijednosti (planska cijena proizvoda/robe).

Varijablu R_1 definiramo kao rezervu kojom se na temelju procjene povećava dnevna ili mjesečna planska prodaja gotovih proizvoda uslijed podbačaja plana proizvodnje te povećanog škarta ili loma gotovih proizvoda.

Varijablu R_2 definiramo kao rezervu kojom se na temelju procjene povećava normirani broj dana ili mjeseci zbog izuzetnih teškoća u isporuci, odnosno otpreme robe.

Varijablu V definiramo kao normirani broj dana ili mjeseci između vremena naručivanja i isporuke.

4.1.1.4. Prosječne zalihe

Prosječne zalihe predstavljaju prosjek stanja zaliha robe tijekom određenog vremenskog razdoblja, najčešće jedne godine. Ova količina izračunava se na temelju minimalne i maksimalne razine zaliha koje poduzeće drži u skladištu. Prosječne zalihe omogućuju poduzeću održavanje optimalne razine raspoloživih resursa za nesmetano odvijanje poslovnih procesa, istovremeno smanjujući rizik od nestašice ili viška zaliha. Kroz precizan izračun i praćenje prosječnih zaliha, poduzeća osiguravaju efikasnu opskrbu i optimalno korištenje skladišnih kapaciteta.[14] i [16]

Formula za izračun prosječnih zaliha glasi (4):

$$Z_{\text{prosječna}} = \frac{\frac{1}{2}Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + \dots + \frac{1}{2}Z_n}{n - 1} \quad (4)$$

Gdje su $Z_1 \dots Z_n$ prosječan broj zaliha u intervalima, dok n označava broj prosječnih zaliha koje su obuhvaćene u izračun.

4.1.1.5. Sigurnosne zalihe

Sigurnosne zalihe predstavljaju dodatnu količinu robe u skladištu koja se drži radi zaštite poslovanja od nepredviđenih promjena u potražnji ili ponudi. Primjerice, u uvjetima povećane potražnje za određenim proizvodima, poput zaštitnih maski tijekom pandemije, sigurnosne zalihe omogućuju poduzeću da odgovori na izvanredne situacije. Također, ove zalihe pružaju zaštitu od rizika poput kašnjenja isporuka ili neispravnih dostava. Njihova je funkcija osiguranje kontinuiteta poslovanja, sprječavajući zastoje u opskrbnom lancu i proizvodnim procesima.[16]

Sigurnosne zalihe naručuju se u trenutku kada razina postojećih zaliha u skladištu dosegne točku ponovne nabave. Kao dodatak redovitim zalihama, one osiguravaju da poduzeće može zadovoljiti promjenjive zahtjeve tržišta. Nepostojanje sigurnosnih zaliha može dovesti do ozbiljnih poteškoća u poslovanju, uključujući smetnje u opskrbi i kašnjenja u proizvodnji, što potencijalno ugrožava odnose s kupcima i smanjuje konkurentnost poduzeća.[14]

Detaljnije definiranje sigurnosnih zaliha te njihov izračun obraditi će se u jednom od sljedećih poglavlja.

4.1.1.6. Špekulativne zalihe

Špekulativne zalihe odnose se na zalihe koje poduzeće ne drži zbog trenutne potražnje ili nestašice robe, već zbog strateških razloga, poput iskorištavanja povoljnih tržišnih uvjeta. Primjerice, poduzeće može kupiti veću količinu sirovina kako bi ostvarilo količinski popust ili iskoristilo nižu cijenu uz očekivanje njenog rasta u budućnosti. Takve zalihe omogućuju poduzeću povrat ulaganja čim tržišne promjene povećaju vrijednost proizvoda, čime se stvara dodatna zarada.[16]

Glavni cilj špekulativnih zaliha jest maksimizacija profita kroz kupnju robe po nižim cijenama i njezinu kasniju prodaju po višim. Iako ovaj pristup može donijeti značajne financijske prednosti, zahtijeva pažljivo planiranje i analizu tržišnih trendova. Troškovi koji nastaju tijekom kupovine špekulativnih zaliha vraćaju se kroz rast cijena tijekom određenog razdoblja,

omogućujući poduzeću da iskoristi prilike koje tržište pruža. Ova strategija zahtijeva odgovarajuće skladišne kapacitete i efikasno upravljanje zalihama kako bi se smanjili dodatni operativni troškovi.[14]

4.1.1.7. Sezonske zalihe

Sezonske zalihe odnose se na količinu robe koja se akumulira tijekom godine kako bi omogućila potpunu opskrbljenost tržišta u razdobljima povećane potražnje, odnosno u sezoni. Primjeri uključuju kupaće kostime, božićne proizvode, zimske kapute i poljoprivredne proizvode. Proizvođači i trgovci planiraju nabavu sezonskih zaliha unaprijed, prije početka same sezone, s ciljem maksimalizacije prodaje do kraja sezone. Ovakve zalihe omogućuju poduzećima da odgovore na specifične tržišne zahtjeve i iskoriste prilike koje donosi sezonska potražnja. [14] Sezonske zalihe kupuju se u određenom razdoblju s namjerom da se koriste ili isporučuju u budućem razdoblju, često prije nego što potražnja dostigne svoj vrhunac. Njihovo nakupljanje omogućuje poduzećima da iskoriste ekonomiju obujma, smanjujući troškove po jedinici proizvoda. [16]

4.1.1.8. Promocijske zalihe

Ova vrsta zaliha odnosi se na zalihe robe koja se nabavlja uslijed predviđanja povećanja prodaje uslijed promocija.[15]

4.1.1.9. Nekurentne zalihe

Nekurentne zalihe karakterizira slaba prodaja, loša kvaliteta robe, visoke cijene i zastarjele tehnologije obično se dulje zadržavaju na tržištu. Do ovih zaliha često dolazi zbog nepromišljenih poslovnih odluka, pogrešnih tržišnih procjena ili nekompetentnosti zaposlenika. Takvi proizvodi zahtijevaju dodatno skladištenje, što generira dodatne troškove za poduzeće. Ove zalihe imaju izuzetno mali koeficijent obrtaja, što znači da se polako prodaju. Kako bi se oslobodili tih proizvoda, poduzeća često odlučuju sniziti cijene kako bi ih brže prodali, čime pokušavaju smanjiti gubitke nastale njihovim zadržavanjem na skladištu.[16]

Držanje zaliha često se smatra troškom koji je moguće eliminirati, ali realnost poslovanja pokazuje da zalihe imaju ključnu ulogu u osiguravanju kontinuiteta opskrbnog lanca. Zalihe služe kao tampon između ponude i potražnje, omogućujući stabilnost i zaštitu od neizvjesnosti poput nepredviđenih promjena na tržištu ili poremećaja u dobavnim procesima.

Također, zalihe mogu smanjiti operativne troškove drugih aktivnosti, omogućujući poduzećima bolje iskorištavanje ekonomije obujma kroz povoljnije cijene transporta ili materijala.

Osim toga, zalihe su nužne za sezonske proizvode i osiguranje dostupnosti robe kupcima u kratkim rokovima. Primjerice, sezonska proizvodnja sirovina u prehrambenoj industriji ili prodaja novogodišnjih proizvoda zahtijevaju stvaranje zaliha kako bi se uravnotežila ponuda i potražnja. Također, nepouzdana dobava, prirodne nepogode ili neplanirani događaji dodatno opravdavaju potrebu za zalihama. Uz to, nabava većih količina robe s popustima ili proizvodnja u ekonomičnim serijama smanjuju jedinične troškove proizvodnje, čime zalihe postaju financijski opravdane unatoč povećanim troškovima skladištenja. Upravljanje zalihama, iako izazovno, donosi višestruke prednosti ako se provodi promišljeno i usklađeno s poslovnim potrebama.[15]

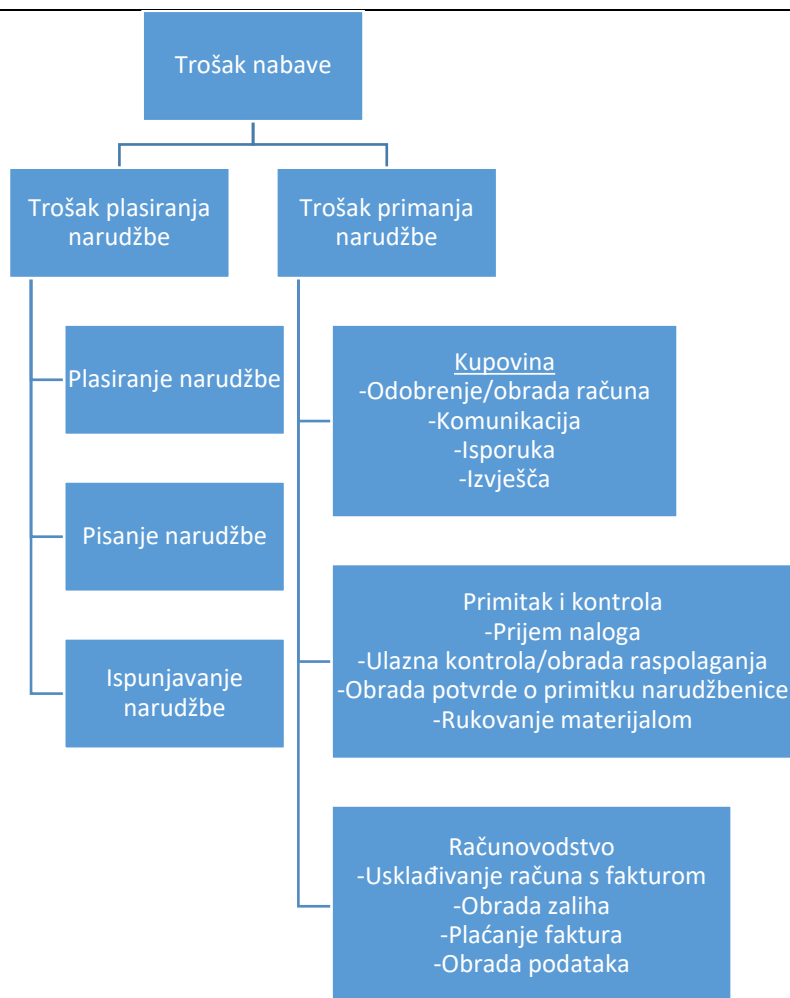
4.1.2. Troškovi zaliha

Troškovi zaliha ključan su element svakog sustava upravljanja zalihama, jer izravno utječu na financijsku učinkovitost poduzeća i kvalitetu opskrbe. Razumijevanje i upravljanje ovim troškovima zahtijeva pažljivu analizu i primjenu optimalnih politika upravljanja zalihama. Tri osnovne kategorije troškova zaliha uključuju[2][14]:

- troškove nabave
- troškove skladištenja
- troškove nedostatka zaliha.

4.1.2.1. Troškovi nabave

Troškovi nabave obuhvaćaju sve aktivnosti vezane uz proces naručivanja i dostave robe, što uključuje administrativne troškove izrade narudžbi, troškove pokretanja proizvodnih procesa te obrade narudžbi kroz financijski i nabavni odjel. Uz to, tu su i varijabilni troškovi, poput troškova prijevoza i prijama robe, koji ovise o količini narudžbe. Na primjer, nabava velikih količina robe može donijeti povoljnije cijene po jedinici, ali istodobno povećati troškove skladištenja. Zato je ključno pronaći ravnotežu između veličine narudžbe i učestalosti naručivanja. Dobra strategija nabave uključuje praćenje tržišnih cijena, pregovore s dobavljačima i učinkovitu logistiku, čime se mogu značajno smanjiti ukupni troškovi ovog segmenta.[2][14]



Slika 6. Ključne komponente godišnjeg troška naručivanja

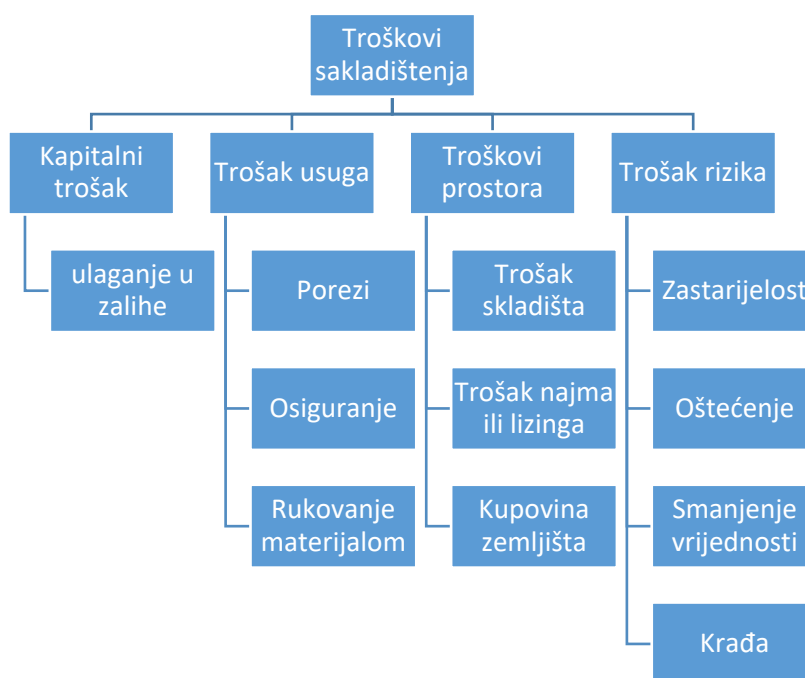
4.1.2.2. Troškovi skladištenja

Troškovi skladištenja odnose se na čuvanje robe u skladištu i rastu proporcionalno količini zaliha. Ovi troškovi obuhvaćaju četiri osnovne kategorije:

1. **Troškovi prostora** – uključuju troškove izgradnje ili najma skladišta, održavanje prostora te amortizaciju opreme. Najam se obično formira na temelju veličine prostora i količine zaliha, dok vlasnici skladišta pokrivaju troškove poput struje i grijanja.
2. **Kapitalni troškovi** – odnose se na novčana sredstva uložena u zalihe, što može činiti i do 80% ukupnih troškova skladištenja. Ovi troškovi su često najsubjektivniji i najteže mjerljivi.
3. **Troškovi usluga** – obuhvaćaju osiguranje skladišta kako bi se zalihe zaštitile od rizika poput požara, krađe ili vremenskih nepogoda.

4. **Troškovi rizika** – uključuju potencijalne gubitke uslijed propadanja, zastarjelosti ili kvarenja robe, što može dovesti do smanjenja vrijednosti ili potpunog gubitka proizvoda.

Optimizacija skladišnih kapaciteta i praćenje razina zaliha ključni su za smanjenje ovih troškova.[2][14]



Slika 7. Ključne komponente godišnjeg troška zaliha skladištenja

4.1.2.3. Troškovi nedostatka zaliha

Troškovi nedostatka zaliha nastaju kada poduzeće nije u mogućnosti ispuniti narudžbu zbog neadekvatnih zaliha, što može rezultirati nizom negativnih posljedica. Nedostatak robe može uzrokovati zastoje u proizvodnji, otkazivanje narudžbi kupaca ili čak trajni gubitak kupaca i tržišnog udjela. Takve situacije često narušavaju reputaciju poduzeća i povećavaju troškove pronalaska novih kupaca. Uz to, nedostatak zaliha može izazvati dodatne troškove povezane s hitnom nabavom ili reorganizacijom proizvodnih procesa. Održavanje sigurnosnih zaliha i praćenje trendova potražnje ključni su za smanjenje ovih rizika i osiguranje kontinuirane dostupnosti robe.

4.1.2.4. Trošak materijala

Neki autori, osim tri osnovna tipa troškova zaliha, kao što su troškovi nabave, skladištenja i nedostatka zaliha, navode i četvrti tip, a to je **trošak materijala**. Ovaj trošak odnosi se na cijenu jedinice materijala koju naplaćuje dobavljač ili cijenu koju poduzeće plaća za nabavu jedne jedinice tog materijala. Trošak po jedinici obično je lako dostupan putem ponuda ili nedavnih računa dobavljača. Međutim, situacija postaje složenija kada postoji više dobavljača koji nude slične proizvode, ali s različitim uvjetima kupnje ili cijenama.

Ako poduzeće proizvodi određeni materijal interno, može biti teže precizno odrediti proizvodni trošak ili cijenu prijenosa materijala unutar organizacije. Takve procjene zahtijevaju detaljnu analizu proizvodnih procesa, troškova rada, opreme i drugih faktora koji utječu na cijenu proizvodnje. U ovom kontekstu, poduzeće mora pažljivo analizirati sve komponente troškova kako bi došlo do točne procjene cijene materijala i osiguralo optimalnu ravnotežu između nabavnih troškova i proizvodnih troškova.[15]

Upravljanje troškovima zaliha zahtijeva integriran pristup koji uključuje optimizaciju veličine narudžbi, praćenje razina zaliha i strateško planiranje. Cilj je minimizirati ukupne troškove dok se osigurava visoka razina usluge kupcima i stabilnost poslovanja. Efikasno upravljanje troškovima zaliha osigurava ne samo smanjenje operativnih troškova već i povećanje konkurentske prednosti poduzeća. [2][14]

4.1.3. Sustavi kontrole zaliha

Sustavi upravljanja zalihama omogućuju kontrolu razine zaliha određivanjem količine narudžbe i vremena kada je potrebno izvršiti dopunu. Postoje dvije osnovne vrste sustava upravljanja zalihama:

- kontinuirani sustav (sustav fiksne količine narudžbe)
- periodički sustav (sustav fiksnog vremenskog intervala).

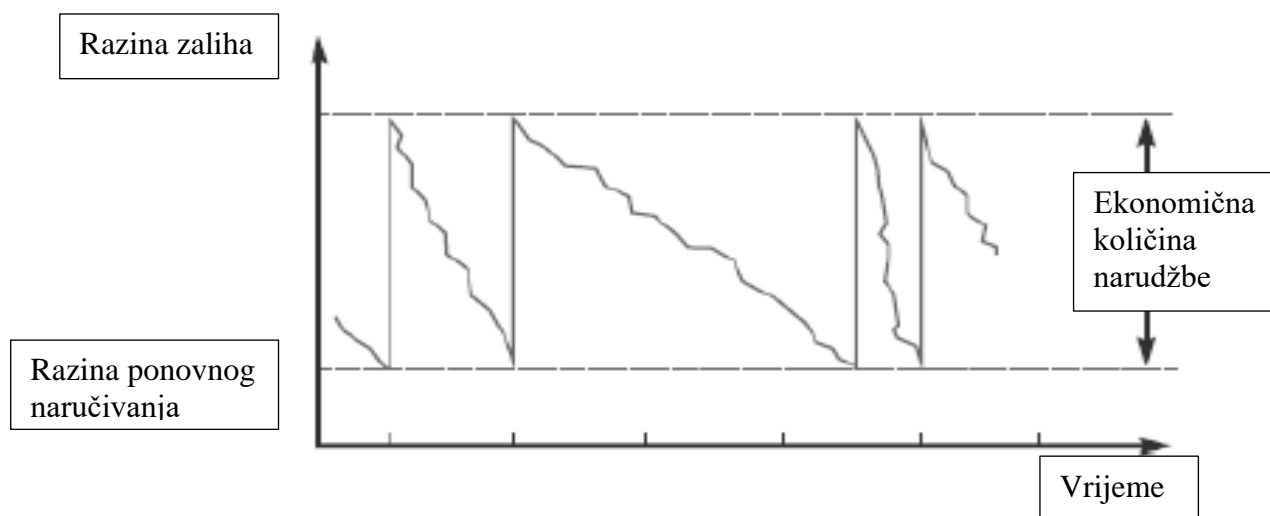
U kontinuiranom sustavu narudžba se postavlja uvijek za istu konstantnu količinu kada zalihe dosegnu određenu razinu. Ovaj pristup osigurava pravovremenu dopunu zaliha, održavajući stalnu razinu opskrbe. S druge strane, periodički sustav funkcionira tako da se narudžba postavlja u redovitim vremenskim intervalima, ali količina narudžbe varira ovisno o trenutnim potrebama i stanju zaliha. Ovi sustavi omogućuju fleksibilnost u upravljanju zalihama i prilagodbu specifičnim potrebama poslovanja, dok istovremeno smanjuju rizik od prevelikih zaliha ili nestašica.[2]

4.1.3.1. Kontinuirani sustav kontrole zaliha

Kontinuirani sustavi upravljanja zalihama, poznati i kao sustavi fiksne količine narudžbe ili trajni sustavi, oslanjaju se na kontinuirano praćenje razine zaliha za svaki artikl. Kada razina zaliha padne na unaprijed određenu granicu, poznatu kao točka ponovne narudžbe, postavlja se nova narudžba kako bi se nadoknadile zalihe. Narudžba se uvijek postavlja za fiksnu količinu koja minimizira ukupne troškove zaliha, a ta se količina naziva ekonomska količina narudžbe. Jedna od prednosti kontinuiranog sustava jest stalno praćenje razine zaliha, čime uprava uvijek ima uvid u status skladišta. Ovo je posebno korisno za kritične artikle, poput rezervnih dijelova ili sirovina, gdje je osiguranje stalne dostupnosti ključno za poslovanje. Međutim, održavanje kontinuiranog praćenja može biti povezano s dodatnim troškovima.

Primjer ovakvog sustava može se pronaći u svakodnevnim situacijama, poput korištenja čekovne knjižice koja ima unaprijed određeni broj čekova. Kada se potroši određena količina čekova, aktivira se narudžba za novu knjižicu. Sličan sustav koriste mnogi uredi i trgovine, gdje kartice za narudžbu signaliziraju potrebu za obnovom zaliha.

Kontinuirani sustavi često koriste alate informacijske tehnologije kako bi poboljšali brzinu i točnost unosa podataka. Na primjer, supermarketi i maloprodaje koriste računalne blagajne s laserskim skenerima koji čitaju barkodove proizvoda i automatski ažuriraju razinu zaliha. Ovi sustavi ne samo da ubrzavaju proces praćenja zaliha, već i omogućuju kontinuirani pristup ažuriranim podacima, što pomaže menadžmentu u donošenju pravovremenih odluka. Proizvođači i distributeri također koriste bar-kodove i ručne skenere za praćenje sirovina, opreme i gotovih proizvoda, čime dodatno povećavaju učinkovitost i preciznost upravljanja zalihama.[2]

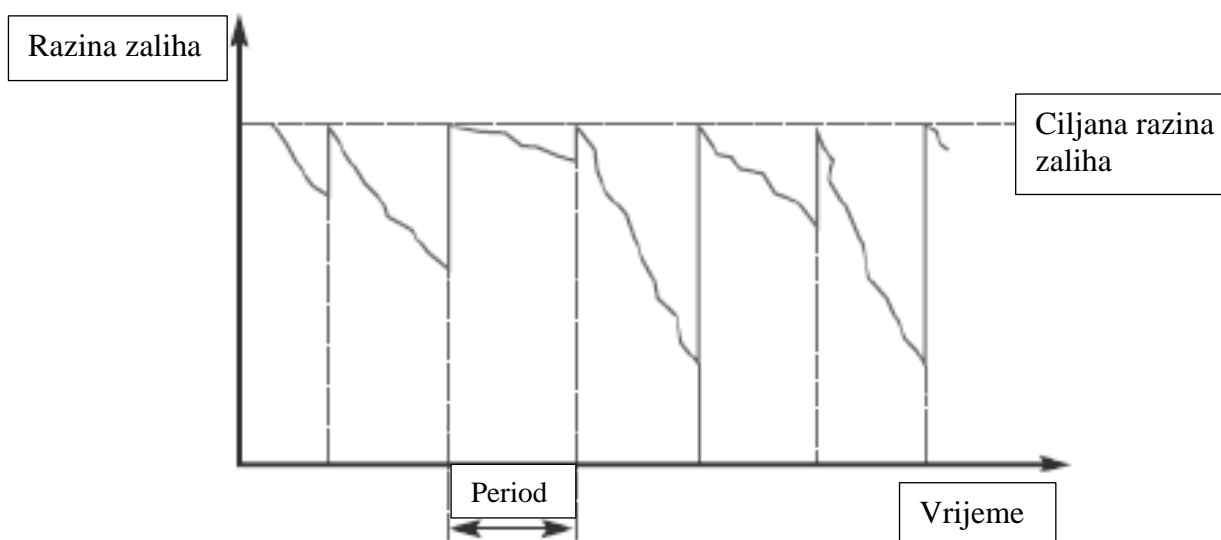


Slika 8. Kontinuirani sustav kontrole zaliha

4.1.3.2. Periodički sustav kontrole zaliha

Periodički sustav upravljanja zalihama, također poznat kao sustav fiksnog vremenskog intervala ili sustav periodičkog pregleda, temelji se na tome da se zalihe u skladištu broje u određenim vremenskim razdobljima, kao što su tjedni ili krajem svakog mjeseca. Nakon što se utvrdi trenutna količina zaliha, postavlja se narudžba za količinu koja će vraćanjem zaliha do željene razine. U ovom sustavu, razina zaliha se ne prati tijekom razdoblja između narudžbi, što je prednost jer zahtijeva minimalno ili nikakvo vođenje evidencije. Međutim, glavni nedostatak ovog sustava je manja izravna kontrola nad zalihama, što obično dovodi do većih zaliha nego u kontinuiranom sustavu, kako bi se zaštitili od neočekivanih nestašica na početku razdoblja.

Primjer periodičnog sustava možemo vidjeti u knjižarama na sveučilištima i fakultetima, gdje se udžbenici naručuju prema procijenjenim potrebama nakon što se zalihe prebroje nakon nekoliko tjedana semestra. Na temelju procijenjenog broja upisa i količine preostalih udžbenika, izvršava se nova narudžba za sljedeći semestar. Slične sustave koriste i manji maloprodajni objekti, ljekarne, trgovine prehrambenim proizvodima, te uredi, gdje se razina zaliha provjerava svakih nekoliko tjedana ili mjeseci, često uz pomoć dobavljača, kako bi se odredila količina koju treba naručiti. Periodični sustav omogućuje jednostavnije upravljanje, ali zahtijeva redovito ažuriranje procjena za narudžbe, čime se osigurava da se zalihe održavaju na optimalnoj razini.[2]



Slika 9. Periodički sustav kontrole zaliha

4.1.4. ABC sustav klasifikacije zaliha

ABC sustav klasifikacije zaliha predstavlja metodu koja omogućava podjelu zaliha prema različitim kriterijima, uključujući njihovu novčanu vrijednost za poduzeće. Obično, poduzeća drže tisuće artikala koji imaju neovisnu potražnju, osobito u proizvodnji, ali samo mali postotak tih artikala ima toliko visoku vrijednost da zahtijeva pažljivo upravljanje. Općenito, oko 5 do 15% svih zaliha čini 70 do 80% ukupne novčane vrijednosti zaliha i smatraju se A klasom. B artikli čine oko 30% svih zaliha, ali predstavljaju samo 15% ukupne novčane vrijednosti. C artikli obično čine 50 do 60% ukupnih jedinica zaliha, dok njihov udio u novčanoj vrijednosti iznosi samo 5 do 10%.

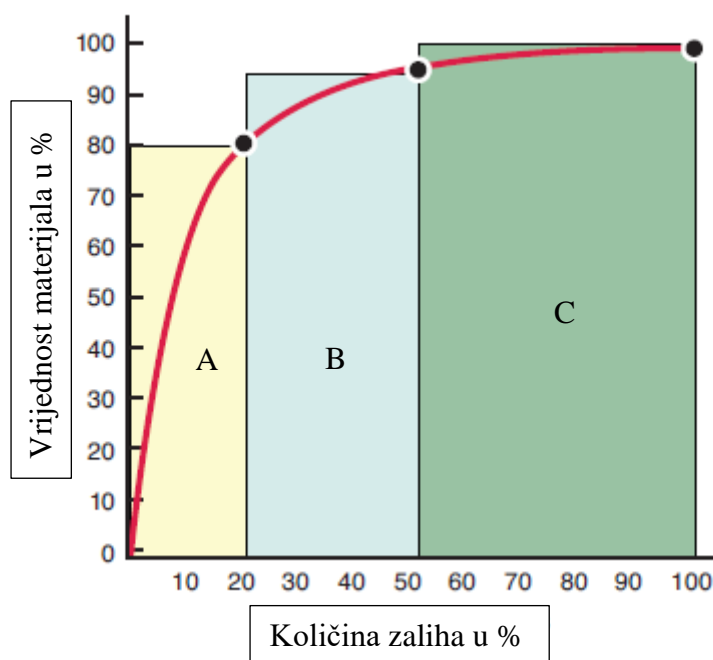
Općenito, relativno mali postotak ukupnog asortimana artikala u skladištu čini veliki postotak ukupne vrijednosti upotrebe tih artikala. Ovaj fenomen poznat je kao Pareto zakon (nazvan po osobi koja ga je opisala), koji se također naziva 80/20 pravilo. To je naziv koje nosi jer, prema tom pravilu, obično 80 posto prodaje neke organizacije čini samo 20 posto svih artikala koji se drže u skladištu. Ovaj zakon ističe kako je relativno mali broj artikala ključan za generiranje značajnog udjela prihoda, što je temelj ABC analize.[1][2]

ABC analiza zahtijeva različite razine praćenja i kontrole zaliha za svaku klasu – što je veća vrijednost zaliha, to je kontrola stroža. A artikli zahtijevaju čvrstu kontrolu, dok B i C artikli zahtijevaju manje strogu kontrolu. Početni razlog za ABC analizu bio je da kontinuirano praćenje zaliha može biti skupo i neisplativo za mnoge artikle, no široka primjena bar-kod skenera smanjila je troškove praćenja, omogućujući primjenu kontinuiranog praćenja za sve klase artikala.[2]

Prvi korak u ABC analizi je klasificiranje svih artikala zaliha u tri kategorije: A, B i C. Svakom artiklu dodjeljuje se novčana vrijednost, koja se računa množenjem cijene jednog artikla s godišnjom potražnjom za tim artiklom. Artikli se zatim rangiraju prema svojoj godišnjoj novčanoj vrijednosti, pri čemu, na primjer, prvih 10% artikala spada u A klasu, sljedećih 30% u B klasu, a preostalih 60% u C klasu. Iako ove klasifikacije nisu uvijek potpuno točne, pokazalo se da se često podudaraju s stvarnim stanjem u poduzećima.[2]

Tablica 1. Odnos vrijednosti materijala i količini zaliha po pojedinim skupinama[14]

| Kategorija | Udio u vrijednosti ukupnih potreba/potrošnje/zaliha | Udio u ukupnom broju vrsta materijala |
|------------|---|---------------------------------------|
| A | 40-80% | 5-25% |
| B | 20-40% | 20-40% |
| C | 5-20% | 40-75% |



Slika 10. Grafički prikaz ABC analize

Nakon klasifikacije, sljedeći korak je određivanje razine kontrole zaliha za svaku klasifikaciju. A artikli zahtijevaju vrlo strogu kontrolu, jer čine značajan udio ukupne novčane vrijednosti zaliha. Razina zaliha za ove artikle trebala bi biti što manja, a sigurnosne zalihe minimalizirane. Ovo zahtijeva precizne prognoze potražnje i detaljno vođenje evidencije. B i C artikli zahtijevaju manje strogu kontrolu, jer su njihovi troškovi niži, a razine zaliha mogu biti veće uz veće sigurnosne zalihe. U većini slučajeva, A artikli zahtijevaju sustav kontinuirane kontrole, dok B i C artikli mogu biti podložni periodičkom pregledu s manje praćenja.[2]

Tablica 2. Kontrola zaliha za ABC analizu[17]

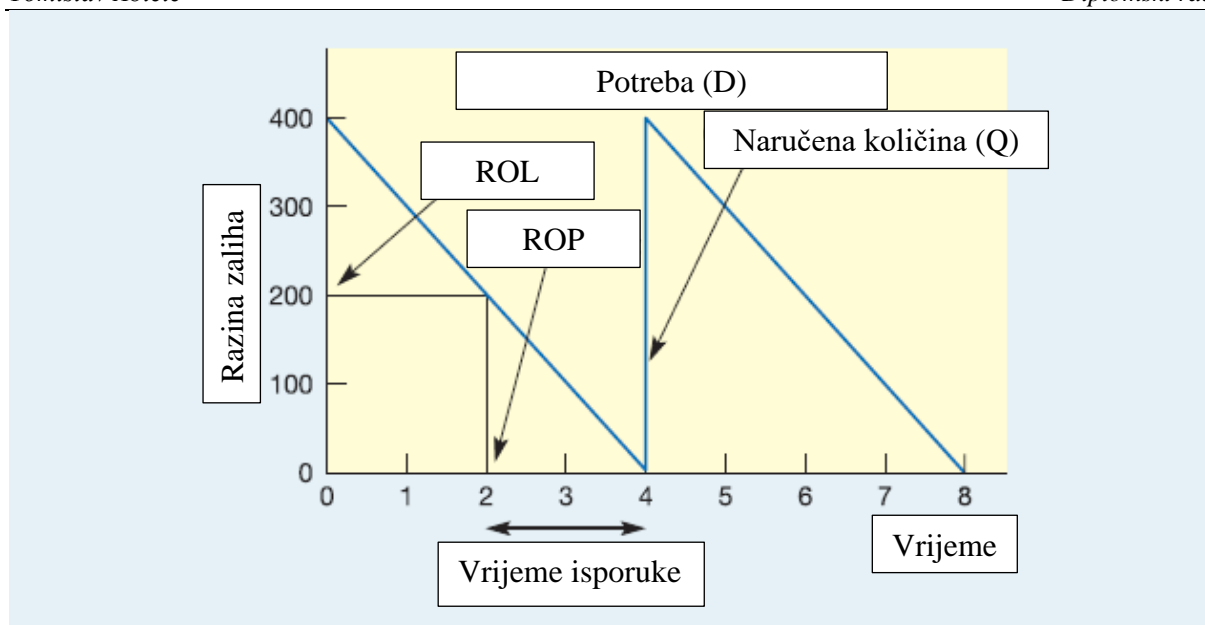
| Kategorija | Razina kontrole | Tip izvještaja | Veličina skladišta | Učestalost pregleda | Razina sigurnosnih zaliha |
|------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------------|
| A | Usko | Točan i potpun | Malo | Kontinuirano (često) | Niska |
| B | Srednje | Dobar | Srednje | Povremeno | Srednja |
| C | Opuštena | Jednostavan | Veliko | Rijetko | Velika |

Iako je cijena glavni razlog za klasifikaciju zaliha, drugi čimbenici, poput rijetkosti dijelova ili poteškoća u nabavi, također mogu utjecati na prioritet određenih artikala. Na primjer, duže vrijeme isporuke nekih dijelova može biti problem za poduzeće koje naručuje iz Europe, pa ti dijelovi zahtijevaju viši prioritet u klasifikaciji.[2]

4.1.5. Ponovno naručivanje

Donošenje odluke o vremenu naručivanja zaliha ključno je za održavanje kontinuiteta poslovanja i izbjegavanje nestašica. U idealnim uvjetima, gdje je potražnja konstantna i predvidiva, a narudžbe stižu odmah po slanju, narudžba se postavlja čim razina zaliha dosegne nulu. U tom slučaju zalihe se nadopunjuju bez zastoja ili nastajanja nestašica. Međutim, u stvarnosti često postoji vremenski odmak, poznat kao vrijeme isporuke, između slanja narudžbe i njenog dolaska u skladište. [1]

U situacijama gdje vrijeme isporuke traje, primjerice, dva tjedna, točka ponovne narudžbe (eng. Re-order point – u daljnjem dijelu teksta ROP) određuje se tako da se narudžba postavi kada zalihe padnu na razinu koja omogućuje pokrivanje potražnje tijekom tog vremena isporuke. Na primjer, ako je dnevna potražnja 100 artikala, a vrijeme isporuke traje dva tjedna, točka ponovne narudžbe postavlja se na razinu ponovne narudžbe (eng. Re-order level – u daljnjem dijelu teksta ROL) od 200 artikala. Ovaj izračun podrazumijeva savršenu predvidivost potražnje i vremena isporuke, no u većini slučajeva oba čimbenika su podložna promjenama, što zahtijeva dodatne prilagodbe.[1]



Slika 11. ROL i ROP su derivacije vremena isporuke narudžbe i razine potrebe

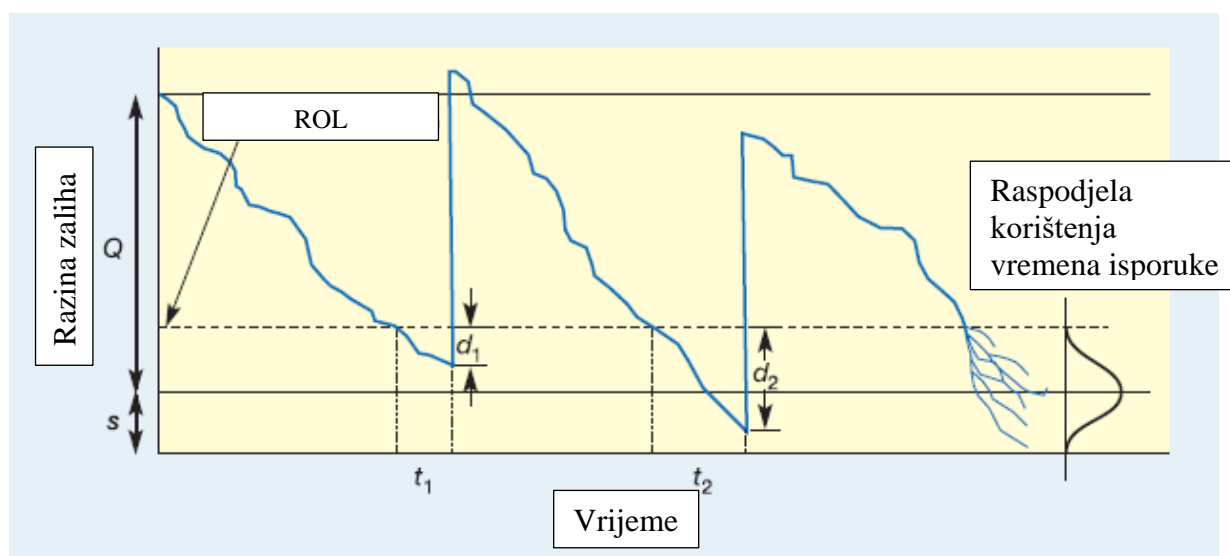
Sigurnosne zalihe (eng. buffer stock) ključan su alat u upravljanju zalihama za osiguranje kontinuiteta poslovanja i zaštitu od nepredvidivih oscilacija u potražnji i vremenu isporuke. Njihova osnovna svrha je omogućiti poduzećima da zadovolje potražnju čak i u nepovoljnim situacijama, primjerice kada dođe do kašnjenja narudžbi, privremenog porasta potražnje ili drugih neplaniranih okolnosti koje bi mogle dovesti do nestašica. Na taj način sigurnosne zalihe predstavljaju svojevrsni „štit“ za opskrbni lanac, osiguravajući da se proizvodni procesi i isporuka prema kupcima odvijaju bez prekida. U praksi, sigurnosne zalihe obično se postavljaju na razinu koja omogućava 90% do 95% vjerojatnosti da neće doći do nestašica tijekom vremenskog ciklusa isporuke.

Razina sigurnosnih zaliha ovisi o nekoliko čimbenika, uključujući povijesne podatke o potražnji, distribuciju potrošnje, vrijeme isporuke i njihove varijacije. Ako se sigurnosna zaliha postavi prenisko, postoji visok rizik od nestašica, što može rezultirati gubitkom kupaca ili zastojem u proizvodnji. S druge strane, previsoke razine sigurnosnih zaliha povećavaju troškove skladištenja, koji mogu činiti i do 20% ukupne vrijednosti zaliha. Upravo iz tog razloga cilj je postizanje ravnoteže između ovih dvaju rizika, gdje razina sigurnosnih zaliha omogućava optimalno funkcioniranje poslovanja uz minimalne troškove.

Načini određivanja sigurnosnih zaliha variraju ovisno o potrebama poduzeća i složenosti opskrbnog lanca. Jednostavni pristupi, poput postavljanja sigurnosnih zaliha kao 10% ili 20% prosječnih zaliha, mogu biti prikladni za manje kompleksne sustave. Međutim, za složenije sustave često se primjenjuju sofisticirane metode temeljene na matematičkim modelima. Na

primjer, ako prosječna potražnja tijekom vremenskog razdoblja isporuke iznosi 500 jedinica s varijacijom od ± 50 jedinica, sigurnosne zalihe se mogu postaviti na razinu koja pokriva najveće očekivane oscilacije.

Sigurnosne zalihe nisu usmjerene na potpuno eliminiranje rizika od nestašica, već na njihovo smanjenje na prihvatljivu razinu koja osigurava stabilnost poslovanja. Ovaj pristup zahtijeva kontinuirano praćenje i prilagodbu zaliha u skladu s promjenama na tržištu i potrebama kupaca. Dalje će se prikazati neki od modela određivanja sigurnosnih zaliha. [1][15]



Slika 12. Sigurnosne zalihe (s)

4.1.5.1. Modeli određivanja sigurnosnih zaliha

Osnovna formula za sigurnosne zalihe:

Prva metoda poznata je kao staromodna metoda (eng. "the old-fashioned way"). Sigurnosna zaliha jednostavno se definira za određeni broj dana prosječne potražnje (5). Ova metoda je vrlo jednostavna i koristi se kada su promjene u potražnji relativno stabilne i predvidljive. Međutim, zbog svoje jednostavnosti, ova metoda ne uzima u obzir moguće varijacije u vremenu isporuke ili potražnji.

$$Z_{sig} = \text{Prosječna potražnja} \times X \text{ dana} \quad (5)$$

Prosječna maksimalna formula:

Druga metoda temelji se na određivanju sigurnosne zalihe prema maksimalnim mogućim odstupanjima od prosječne potrošnje tijekom prosječnog vremena dobave: Ova metoda računa se pomoću formule (6):

$$Z_{sig} = MAX(potrošnja \times vrijeme isporuke) - AVG(potrošnja \times vrijeme isporuke) \quad (6)$$

Iako je ova metoda korak naprijed u odnosu na osnovnu formulu, njeni limiti uključuju osjetljivost na ekstremne slučajeve, poput neuobičajenog kašnjenja isporuke ili naglog porasta potražnje, što može rezultirati precijenjenim razinama sigurnosnih zaliha. Također, ne uzima u obzir nivo usluge korisnicima, što može utjecati na preciznost izračuna.

Sigurnosne zalihe uz varijabilnost potražnje:

Kada je varijabilnost potražnje jedini čimbenik koji utječe na sigurnosne zalihe, izračunava se pomoću standardne devijacije potražnje tijekom perioda naručivanja. Rezultat se množi sa Z-faktorom koji odgovara željenom nivou usluge (7):

$$Z_{sig} = Standardna\ devijacija \times Z \quad (7)$$

Z-faktor predstavlja statističku vrijednost koja odražava vjerojatnost ispunjenja potražnje bez nestašica. Na primjer, Z-faktor od 1.65 osigurava 95% vjerojatnosti, dok Z-faktor od 2.33 pruža 99% razinu usluge. Ova metoda omogućava veću fleksibilnost i točnost u predviđanju potrebnih sigurnosnih zaliha, ali zahtijeva precizne podatke o povijesnoj potražnji i analizu distribucije potrošnje.

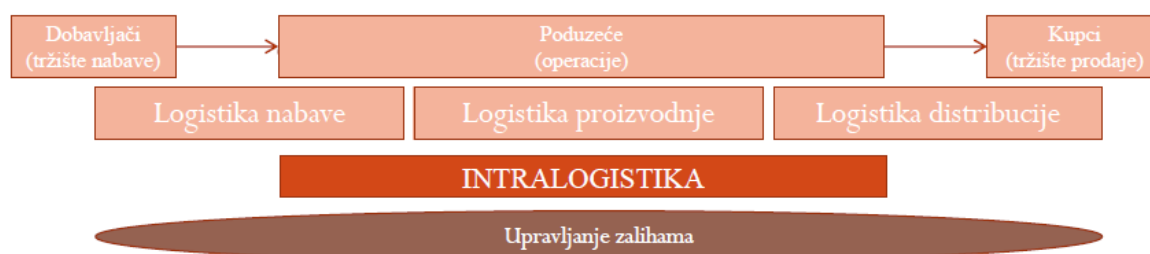
Ove metode pružaju različite pristupe u određivanju sigurnosnih zaliha, ovisno o složenosti operacija i dostupnosti podataka. Njihova primjena omogućava poduzećima da optimiziraju razinu zaliha uz istovremeno održavanje željenog nivoa usluge. [15]

4.2. Upravljanje zalihama

Upravljanje zalihama (engl. *inventory management*) ključna je logistička aktivnost koja ima značajnu ulogu unutar logistike i cjelokupnog sustava upravljanja lancem opskrbe. Glavni zadatak upravljanja zalihama je osiguravanje kontinuiranog toka materijala i proizvoda kako bi se zadovoljila potražnja uz istovremeno optimiziranje troškova povezanih sa zalihama. Ovaj

proces uključuje planiranje potreba za materijalima, određivanje optimalnih količina zaliha, definiranje količina i učestalosti naručivanja, praćenje trenutnog stanja zaliha, te pravovremeno naručivanje kako bi se izbjegle nestašice ili prekomjerno gomilanje zaliha.

Cilj upravljanja zalihama je postizanje ravnoteže između ponude i potražnje, osiguravanje dostupnosti potrebnih materijala i proizvoda te pružanje visokog nivoa usluge krajnjim korisnicima. Sve ove aktivnosti zahtijevaju pažljivo planiranje i analizu kako bi se minimizirali troškovi skladištenja, nabave i nedostatka zaliha. Planovi proizvodnje, koji se temelje na zaprimljenim narudžbama, predviđanjima tržišne potražnje i ugovorenim obvezama, predstavljaju ključni alat u ovom procesu. Također, normativi materijala, koji uključuju specifikacije sirovina i poluproizvoda, te točno određena vremena dobave, čine osnovu za učinkovito upravljanje zalihama.



Slika 13. Shema upravljanja zalihama

Svrha upravljanja zalihama može se definirati kao osiguravanje dostupnosti potrebnih resursa u pravom trenutku i u odgovarajućim količinama, uz istovremenu optimizaciju troškova. Uz to, upravljanje zalihama omogućuje poduzećima postizanje većeg nivoa fleksibilnosti, prilagodbe promjenama na tržištu te poboljšanje zadovoljstva korisnika kroz pravovremeno ispunjenje njihovih očekivanja i potreba. Sustavno i pažljivo upravljanje zalihama ključno je za povećanje operativne učinkovitosti i konkurentne prednosti poduzeća.[15]

4.2.1.1. Upravljanje proizvodnjom i zalihama

Potreba za kontinuiranim poboljšanjem fleksibilnosti proizvodnje i kvalitete značajno je porasla u uvjetima globalnog tržišnog natjecanja. Ovo povećanje konkurentnosti dovelo je do promjene u percepciji zaliha, koje se često promatraju kao nužno zlo. Upravljanje proizvodnjom i zalihama usko su povezani procesi koji zajedno doprinose optimizaciji operativnih aktivnosti. Hrvatski proizvođači, koji su često manje usmjereni na smanjenje otpada i neučinkovitosti, suočavaju se s potrebom za implementacijom suvremenih sustava kao što su *just-in-time* (JIT), kompjuterizirana kontrola proizvodnje i drugi moderni sustavi upravljanja zalihama.

Upravljanje proizvodnjom i zalihama (eng. Production and Inventory Management – u daljnjem tekstu PIM) može se definirati kao sustav oblikovanja, operacija i kontrole u proizvodnji i distribuciji proizvoda. Bez obzira na okruženje u kojem se primjenjuje – bilo u maloprodaji, veleprodaji ili proizvodnji – PIM sustavi dijele dva ključna čimbenika: uski kontakt s ljudima te potrebu za konzistentnim i dobro definiranim sustavom planiranja i kontrole. Sustav JIT se ističe kao jedan od najpopularnijih modela, jer njegovi principi nalaze primjenu u gotovo svakom PIM okruženju. JIT sustav karakterizira ljudska orijentacija i jasno definirana pravila planiranja i kontrole, čime se dodatno naglašava njegova povezanost s temeljnim ciljevima PIM-a.

Iako se PIM sustavi primjenjuju u različitim industrijskim okruženjima i često postižu dobre rezultate, postoje situacije u kojima njihova učinkovitost može biti ograničena. Stoga je ključno prilagoditi sustave specifičnostima svakog pojedinog poslovnog okruženja kako bi se ostvarila maksimalna učinkovitost i smanjili troškovi povezani s proizvodnjom i upravljanjem zalihama. [3]

4.2.1. Definiranje pojmova

U terminologiji upravljanja zalihama često se pojavljuju konfuzije, pa je važno razumjeti ključne razlike između pojedinih pojmova. Upravljanje logistikom odnosi se na koordinaciju svih tijekova sirovina i materijala, uključujući nabavu, držanje zaliha, rukovanje materijalom, proizvodnju, pakiranje i transport. Ovaj proces obuhvaća aktivnosti nabave, proizvodne procese i distribuciju, s ciljem optimizacije ukupnih logističkih troškova i postizanja održive logističke ekonomije.

Iako postoji mnogo različitih pristupa upravljanju sirovinama, temelj svih pristupa je racionalizacija nabavnih aktivnosti, koja uključuje planiranje, stjecanje, preradu i distribuciju sirovina potrebnih za proizvodnju. Upravljanje sirovinama fokusira se isključivo na sirovine i materijale, dok upravljanje logistikom obuhvaća i gotove proizvode. Ključna razlika između upravljanja sirovinama i logistike leži u tome što se upravljanje sirovinama isključivo odnosi na faze koje prethode proizvodnji, isključujući fizičku distribuciju, držanje i pakiranje gotovih proizvoda.

Jedan od glavnih razloga za pažljivo upravljanje zalihama jest činjenica da one predstavljaju značajnu investiciju kapitala. Prekomjerne zalihe generiraju dodatne troškove koji mogu biti financijski opterećujući za poduzeće. Primjeri iz prakse pokazuju da prosječna vrijednost zaliha može iznositi do 20% ukupne vrijednosti sredstava poduzeća, dok troškovi zaliha često dosežu do 20% vrijednosti uloženog kapitala u te zalihe.

Rukovanje sirovinama, koje uključuje njihov transport na kratkim udaljenostima, nije izolirana aktivnost, već dio šireg sustava upravljanja sirovinama. Kao takvo, ono doprinosi učinkovitijem protoku materijala unutar poduzeća i ključan je element u postizanju bolje integracije nabave, proizvodnje i skladištenja. Dobro osmišljeni sustavi rukovanja sirovinama pomažu u smanjenju troškova i optimizaciji operativnih procesa.[3]

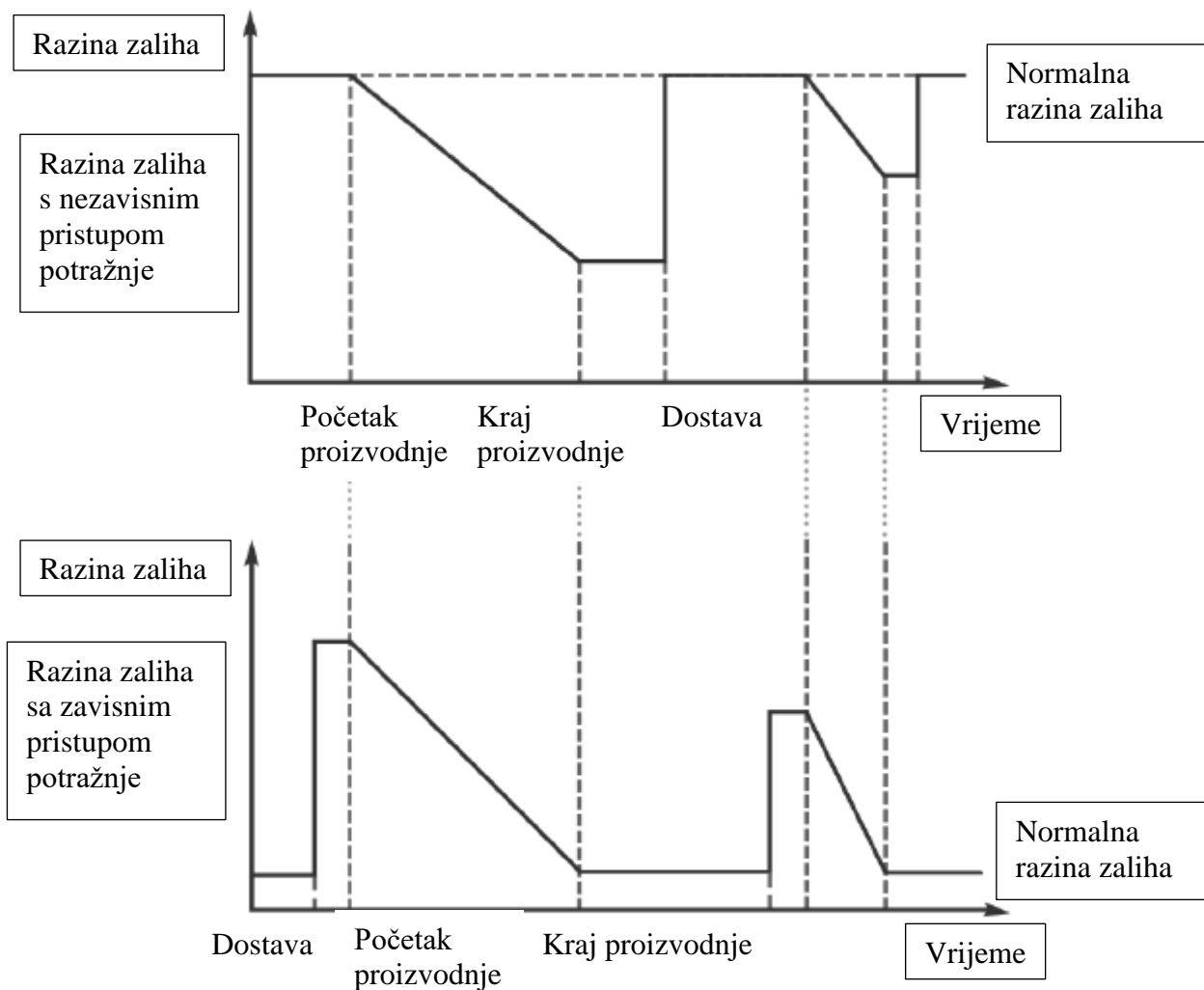
4.2.2. Potražnja

Ključni faktor u politici određivanja zaliha i formiranju narudžbi je procjena i određivanje potražnje, koja se dijeli na dvije osnovne vrste: nezavisnu i zavisnu potražnju.

Zalihe u sustavu nezavisne potražnje temelje se na potražnji koju diktira tržište, odnosno potražnji koja se formira izvan proizvodnog procesa. Na nju utječu faktori poput cijene proizvoda, dohotka potrošača i tržišnih uvjeta. Ove zalihe uključuju gotove proizvode i rezervne dijelove koji se koriste za zamjenu neispravnih komponenti. Za upravljanje zalihama u ovom sustavu ključna je primjena metoda predviđanja potražnje (engl. *forecasting*), kojima se procjenjuju buduće potrebe tržišta.

S druge strane, zavisna potražnja odnosi se na dijelove i komponente čija potražnja ovisi o potražnji za gotovim proizvodima. Upravljanje zalihama u ovom sustavu oslanja se na glavni plan proizvodnje (Master Schedule) i sastavnice materijala (eng. Bill of Materials – u daljnjem tekstu BOM). Na temelju ovih informacija, kao i stanja zaliha u skladištu, određuje se količina i vrijeme narudžbe.

Za nezavisnu potražnju koristi se filozofija nadopunjavanja, gdje se zalihe nadopunjavaju čim se smanje ispod određene razine, osiguravajući kontinuiranu dostupnost proizvoda. Zavisna potražnja, nasuprot tome, temelji se na filozofiji potreba, gdje se narudžbe planiraju na temelju stvarnih potreba proizvodnje.



Slika 14. Usporedba zaliha nezavisne i zavisne potražnje

Za nezavisnu potražnju najpoznatiji model je model ekonomske količine narudžbi (eng. Economic order quantity – u daljnjem tekstu EOQ), koji optimizira troškove naručivanja i držanja zaliha. Za zavisnu potražnju koriste se modeli kao što su planiranje potreba materijala (eng. Material requirements planning – u daljnjem tekstu MRP I) i planiranje resursa za proizvodnju (eng. Manufacturing resources planning – u daljnjem tekstu MRP II). Ovi sustavi analiziraju glavne planove proizvodnje, sastavnice materijala i stanje zaliha kako bi odredili optimalne količine i vrijeme narudžbi.

U sustavu zavisnih zaliha, MRP sustavi omogućuju precizno planiranje zaliha uzimajući u obzir dodatne čimbenike poput minimalnih količina narudžbi, diskonta na cijene i ekonomičnih veličina narudžbi. Suprotno tome, sustavi za nezavisnu potražnju usmjereni su na upravljanje mnogobrojnim neovisnim zahtjevima tržišta, što zahtijeva odgovore na tri osnovna pitanja:

- **Koje materijale naručiti?** Odluka se temelji na analizama troškova i koristi te izbjegavanju nepotrebnog gomilanja zaliha.

- **Kada naručiti?** To ovisi o sustavu kontrole zaliha, vrsti potražnje, pouzdanosti dobavljača i drugim čimbenicima.
- **Koliko naručiti?** Veće narudžbe smanjuju troškove naručivanja, ali povećavaju troškove skladištenja, dok manje narudžbe imaju suprotan efekt.

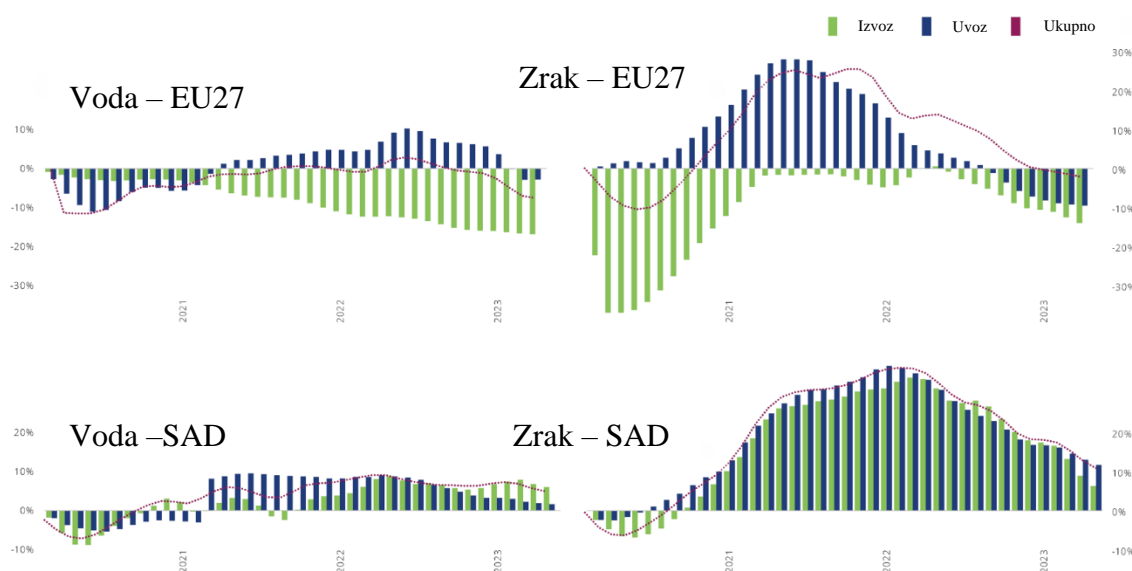
Ove odluke čine temelj racionalnog i ekonomičnog upravljanja zalihama, omogućujući poduzeću da optimizira svoje poslovanje uz osiguranje dostupnosti potrebnih resursa. [15]

4.2.3. Geopolitika i upravljanje zalihama

Geopolitički događaji imaju značajan utjecaj na globalne opskrbe lance i upravljanje zalihama. Sukobi, pandemije i političke napetosti mogu izazvati poremećaje koji zahtijevaju prilagodbu strategija upravljanja zalihama kako bi se održala kontinuitet poslovanja.

Pandemija COVID-19 pokazala je koliko su globalni opskrbni lanci osjetljivi na vanjske šokove. Prema istraživanju, 78% opskrbnih lanaca bilo je poremećeno tijekom pandemije, što je dovelo do promjena u upravljanju zalihama, uključujući nestašice radne snage, neizvjesnost potražnje i produžene rokove isporuke.

Sukobi poput onih između Rusije i Ukrajine također su značajno utjecali na logističke rute i opskrbne lance. Ovi događaji doveli su do promjena u trgovinskim rutama i prilagodbi strategija upravljanja zalihama kako bi se odgovorilo na nove izazove.



Slika 15. Promjena u EU27 vanjskoj razmjeni od veljače 2020 po mjesecima (uslijed pandemije i rata u Ukrajini)

Kako bi se nosile s ovim izazovima, tvrtke su počele diversificirati svoje opskrbne lance, povećavati zalihe kritičnih materijala i ulagati u tehnologije za bolju vidljivost i fleksibilnost. [27][28][33]

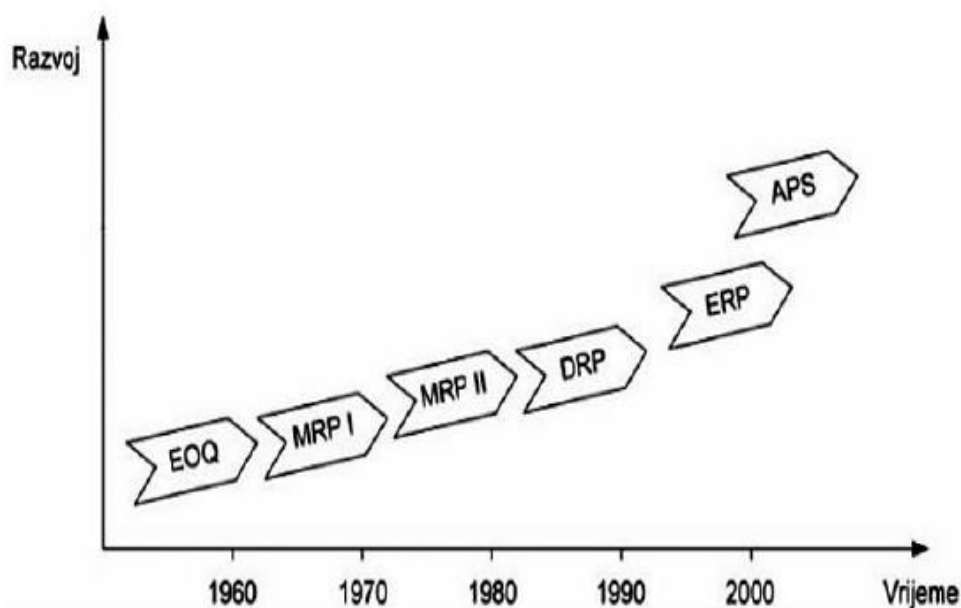
Primjena umjetne inteligencije i naprednih analitičkih alata omogućuje bolje predviđanje poremećaja i bržu prilagodbu promjenama na tržištu. Više o tome u nastavku rada.

U zaključku, geopolitički čimbenici igraju ključnu ulogu u oblikovanju strategija upravljanja zalihama. Razumijevanje i prilagodba na ove utjecaje omogućuju tvrtkama održavanje stabilnosti i konkurentnosti unatoč globalnim izazovima.

4.3. Modeli upravljanja zaliha

Jedan od glavnih problema koji se javljaju prilikom držanja zaliha jest prekomjerno ulaganje sredstava u zalihe, što nepotrebno povećava troškove i smanjuje likvidnost poduzeća. Poduzeća se suočavaju s različitim izazovima u upravljanju zalihama, poput nepredvidljivosti potražnje na tržištu, velikog broja artikala, nepouzdanih dobavljača i dugih vremena isporuke. Ovi čimbenici mogu uzrokovati zastoje u opskrbi, prekomjerno gomilanje zaliha ili, pak, nestašice proizvoda, što utječe na učinkovitost i profitabilnost poduzeća.

U teoriji postoje dva osnovna tipa sustava upravljanja zalihama: tradicionalni i suvremeni sustavi. Svaki od njih ima svoje prednosti i mane, a odabir odgovarajuće metode ovisi o različitim faktorima poput veličine poduzeća, tržišnih uvjeta, vrsti proizvoda, te specifičnostima potražnje. Tradicionalni sustavi, iako jednostavni, mogu biti manje fleksibilni i skloniji prekomjernim troškovima skladištenja, dok suvremeni sustavi, kao što su JIT i MRP, omogućuju precizniju kontrolu zaliha i bolju prilagodbu promjenama na tržištu. Na slici ispod prikazan je razvoj modela upravljanja zalihama, koji će biti detaljnije objašnjeni u nastavku.[14]



Slika 16. Razvoj modela upravljanja zalihama

4.3.1. Tradicionalni modeli upravljanja zalihama

Prvi model za utvrđivanje optimalne količine narudžbe razvijen je 1915. godine, a postavio ga je F. Harris koristeći infinitezimalni račun. Ovaj model postao je temelj za daljnji razvoj teorije upravljanja zalihama i do danas ostaje važan alat u optimizaciji naručivanja zaliha.

Tradicionalni model temelji se na nekoliko ključnih pretpostavki:

1. Potražnja za robom je ravnomjerna i unaprijed poznata.
2. Narudžba se postavlja odmah po isteku zaliha.
3. Ne uzimaju se u obzir ograničenja poput veličine skladišta, dostupnih financijskih resursa ili drugih operativnih faktora.

U okviru ovog modela koriste se različite tehnike upravljanja zalihama koje pomažu u optimizaciji procesa naručivanja i skladištenja robe:

- **Ekonomična količina narudžbe (EOQ):** Model koji minimizira ukupne troškove nabave i skladištenja zaliha.
- **Kontinuirano popunjavanje zaliha:** Sustav u kojem se narudžba postavlja čim razina zaliha padne na određenu granicu.
- **Periodično popunjavanje zaliha:** Sustav u kojem se zalihe provjeravaju u redovitim vremenskim intervalima i narudžba postavlja na temelju tadašnjeg stanja.

Ove tehnike, iako jednostavne, pružaju solidnu osnovu za učinkovito upravljanje zalihama, posebno u uvjetima stabilne i predvidljive potražnje. Unatoč ograničenjima koja proizlaze iz pretpostavki tradicionalnog modela, njegove metode i danas nalaze primjenu u poduzećima koja nastoje optimizirati svoje procese naručivanja i skladištenja.[14]

4.3.1.1. Ekonomična količina narudžbe (EOQ)

Osnovni model ekonomične količine narudžbe *EOQ* omogućuje određivanje optimalne veličine narudžbe koja minimizira ukupne troškove skladištenja i nabave. Ovaj model temelji se na nekoliko pojednostavljenih i restriktivnih pretpostavki:

- potražnja je poznata s potpunom sigurnošću i konstantna tijekom vremena
- nestašice zaliha nisu dopuštene
- vrijeme isporuke narudžbe je konstantno
- cjelokupna narudžba stiže odjednom

Prema ovom modelu, narudžba veličine **Q** stiže i troši se konstantnom brzinom dok se zaliha ne smanji do razine ponovne narudžbe **R**. Nova narudžba dolazi upravo u trenutku kada zaliha padne na nulu, čime se izbjegavaju nestašice. Ovaj ciklus se ponavlja kontinuirano uz iste parametre narudžbe, razinu ponovne narudžbe i vrijeme isporuke.

EOQ model optimizira odnos između troškova skladištenja i troškova nabave, koji su u međusobnoj inverznoj vezi. Povećanjem veličine narudžbe smanjuje se broj narudžbi, a time i troškovi nabave, dok prosječna količina zaliha raste, uzrokujući povećanje troškova skladištenja. Optimalna veličina narudžbe Q_{opt} predstavlja kompromis između ovih dvaju troškova (8).

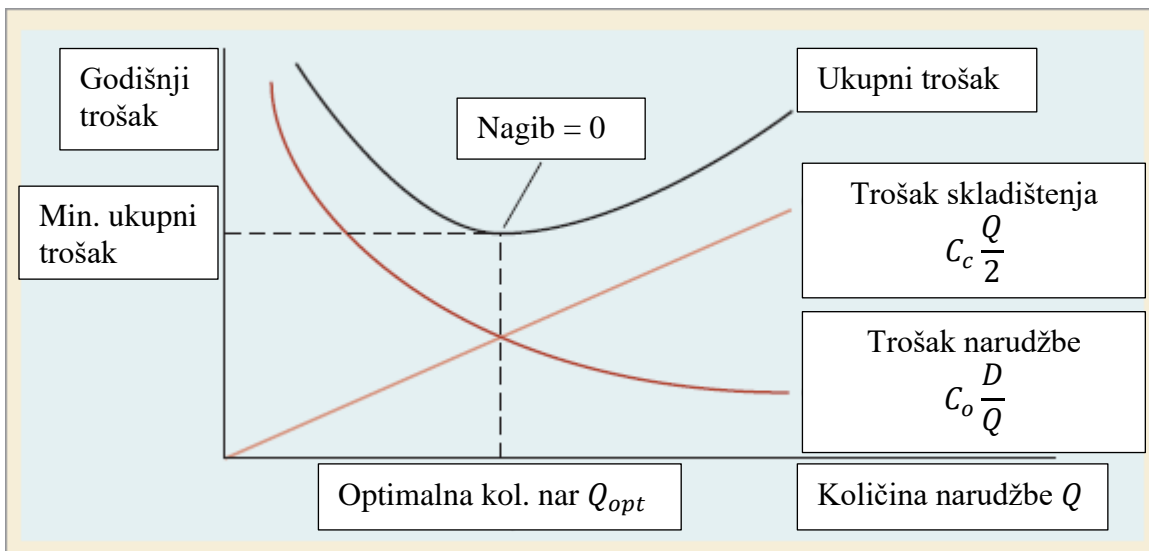
$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_c}} \quad (8)$$

Trošak nabave godišnje računa se množenjem troška po narudžbi C_o s brojem narudžbi godišnje D/Q , gdje je D ukupna godišnja potražnja, a Q veličina narudžbe.

Trošak skladištenja računa se množenjem godišnjeg troška skladištenja po jedinici robe C_c s prosječnom razinom zaliha $Q/2$. Ukupni godišnji trošak zaliha je zbroj troškova skladištenja i nabave(9):

$$TC = \frac{C_oD}{Q} + \frac{C_cQ}{2} \quad (9)$$

Grafički prikaz ovog odnosa pokazuje da se optimalna veličina narudžbe nalazi na točki gdje se krivulje troškova skladištenja i nabave sijeku, a ukupni trošak je minimalan.



Slika 17. Troškovi zaliha

Optimalna količina narudžbe, iako rezultat modela temeljenog na pojednostavljenim pretpostavkama, u praksi se često zaokružuje na najbliže prikladne vrijednosti. EOQ model pokazuje otpornost na pogreške u procjenama troškova i potražnje zbog inverzne veze između troškova skladištenja i nabave. Primjerice, pogreška od 30% u procjeni troškova nabave

uzrokovat će samo približno 10% odstupanja u optimalnoj veličini narudžbe, što čini EOQ model robusnim i korisnim alatom u upravljanju zalihama.[2]

4.3.2. Suvremeni modeli upravljanja zalihama

Osnovna razlika između tradicionalnog i suvremenog modela upravljanja zalihama ogleda se u pristupu planiranju. Dok se tradicionalni modeli temelje na popunjavanju zaliha prema trenutnim potrebama, suvremeni modeli omogućuju detaljno planiranje na temelju unaprijed definiranih planova proizvodnje i prodaje. Suvremeni modeli poput MRP-a, DRP-a i JIT sustava postaju standard zbog svoje efikasnosti u optimizaciji poslovanja i smanjenju troškova. Bez obzira na pristup, ciljevi oba modela su smanjenje vremena čekanja u skladištu, izbjegavanje suvišnih zaliha te usklađivanje proizvodnje s potrošnjom. Uvođenje suvremenih sustava postaje nužnost za poduzeća koja žele poboljšati operativnu fleksibilnost i povećati konkurentnost.

4.3.2.1. Planiranje materijalnih potreba (MRP I)

Planiranje materijalnih potreba (MRP I) računalni je sustav za kontrolu zaliha i planiranje proizvodnje koji omogućuje učinkovito upravljanje materijalima, sirovinama i komponentama potrebnim za proizvodni proces. Temeljni cilj MRP I sustava je osigurati dostupnost materijala kada je potreban, dok se istovremeno nastoji minimizirati razina zaliha i povezani troškovi.

MRP I sustav djeluje prema nekoliko ključnih koraka:

1. Evidentiranje i analiza postojećih zaliha materijala i komponenti.
2. Identifikacija dodatnih materijala potrebnih za dovršetak proizvodnje.
3. Zakazivanje pravovremene nabave potrebnih sirovina.
4. Planiranje proizvodnje finalnih proizvoda u odgovarajućim količinama.

Ovaj sustav počinje analizom potražnje kupaca te utvrđivanjem količine i vremena isporuke traženih proizvoda. Na temelju glavnog plana proizvodnje te specifikacija materijala, izrađuje se hijerarhijski strukturirani plan nabave i proizvodnje, uključujući predložene naloge za nabavu.

Primjena MRP I modela donosi brojne prednosti:

- poboljšano upravljanje zalihama uz smanjenje nepotrebnih zaliha
- bolje iskorištavanje proizvodnih kapaciteta i ljudskih resursa
- povećana fleksibilnost i sposobnost odgovora na zahtjeve kupaca
- unaprijeđen nadzor nad proizvodnim procesima te niži ukupni troškovi

Unatoč prednostima, sustav ima i određena ograničenja: ne uzima u obzir proizvodne kapacitete niti optimizira troškove nabave, što može dovesti do povećanja ukupnih troškova zbog češćih manjih narudžbi.

MRP I je prvi sustav koji je prepoznao različite zahtjeve upravljanja zalihama sirovina, komponenti i gotovih proizvoda. Njegova uloga nije ograničena na kontrolu zaliha; postao je ključni alat za raspoređivanje proizvodnih i nabavnih aktivnosti te planiranje isporuka.

Osim toga, MRP I sustavi omogućuju prilagodbu promjenama u proizvodnom procesu, kao što su kašnjenja u narudžbama, promjene u dizajnu proizvoda ili neočekivani kvarovi. Zahvaljujući računalnoj bazi podataka, MRP I može ažurirati rasporede i osigurati da svi dijelovi proizvodnje ostanu usklađeni.

MRP I je posebno koristan u okruženjima sa zavisnom potražnjom, kao što su složeni proizvodi ili proizvodnja po narudžbi. U takvim situacijama upravljanje zalihama komponenti zahtijeva precizno planiranje kako bi se smanjili troškovi i osigurala pravovremena proizvodnja.[2][14]

4.3.2.2. Planiranje materijalnih resursa (MRP II)

Planiranje materijalnih resursa (MRP II) predstavlja nadogradnju osnovnog MRP I modela upravljanja zalihama. Dok se MRP I primarno fokusira na planiranje potrebnih materijala, MRP II proširuje taj koncept uključivanjem proizvodnih kapaciteta, radne snage i financijskih pokazatelja. Ova nadogradnja omogućuje poduzećima preciznije upravljanje proizvodnim procesima, određivanje potrebnih kapaciteta i osiguranje uvjeta za nesmetanu proizvodnju.

Glavni cilj MRP II sustava je integrirati financijske i logističko-operativne planove unutar poduzeća. Sustav omogućuje poduzećima ne samo planiranje materijala već i bolju kontrolu nad troškovima, radnim procesima i resursima. Uspješna primjena MRP II donosi brojne prednosti:

- Smanjenje troškova zaliha.
- Kraće vrijeme isporuke proizvoda kupcima.
- Veća efikasnost i fleksibilnost proizvodnih procesa.
- Smanjenje rizika od kašnjenja u nabavi.

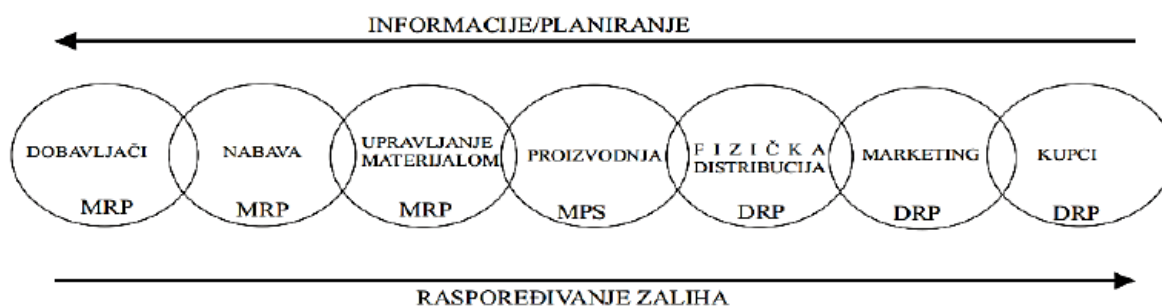
Najveća prednost MRP II sustava u odnosu na MRP I je mogućnost preciznog praćenja zauzetosti proizvodnih kapaciteta. Tijekom implementacije sustava često dolazi do identifikacije „uskih grla“—to su dijelovi procesa koji usporavaju ili blokiraju cjelokupni tijek proizvodnje. MRP II omogućuje prepoznavanje ovih problema i njihovih uzroka, što omogućuje pravovremenu reorganizaciju i optimizaciju poslovanja.

Osim bolje kontrole kapaciteta, sustav doprinosi i eliminaciji viškova zaliha i prekida u proizvodnji, omogućujući poduzećima učinkovitiji rad i bolju prilagodbu promjenama na tržištu. Na taj način MRP II značajno unapređuje upravljanje resursima, čineći ga ključnim alatom za suvremeno planiranje i optimizaciju proizvodnih procesa.[14]

4.3.2.3. Planiranje resursa distribucije (DRP)

Planiranje resursa distribucije (*eng. Distribution Resource Planning* – u daljnjem dijelu teksta DRP) metoda je koja se počela razvijati tijekom 1970-ih godina, a u 1980-ima postala standardni model u planiranju i kontroli distribucije. Ova metoda temelji se na prognoziranju potražnje, pri čemu se koriste metode poput pomičnog prosjeka i eksponencijalnog poravnanja. Zbog svoje jednostavnosti, metoda pomičnog prosjeka češće se primjenjuje, a prognoze se temelje na prosječnoj potrošnji ili prodaji u nekoliko prethodnih razdoblja, što omogućuje predviđanje buduće potrošnje ili prodaje.

Primjena DRP modela omogućava poboljšanje isporuke, smanjenje razine zaliha gotovih proizvoda, optimizaciju transportnih troškova i povećanje efikasnosti distribucijskih centara. Ovi modeli često se koriste u kombinaciji s MRP sustavima koji su usmjereni na upravljanje zalihama unutar logističkog lanca. Rezultat ovakve kombinacije je integracija cjelokupnog opskrbnog lanca, što dovodi do nižih logističkih i proizvodnih troškova te boljeg kvaliteta usluge isporuke.



Slika 18. Suvremeni modeli upravljanja zalihama u funkciji integracije opskrbnog lanca

DRP modeli temelje se na projekcijama za svaki proizvod u zalihama, pri čemu su ključni elementi:

- predviđanje potražnje za svakim proizvodom zasebno
- analiza trenutne razine zaliha svakog proizvoda
- postavljanje ciljane razine sigurnosnih zaliha
- određivanje preporučene količine za popunjavanje zaliha
- praćenje vremena isporuke potrebnih proizvoda

Za implementaciju ovog modela koriste se DRP tablice, koje uključuju podatke poput određenog proizvoda, predviđanja potražnje, početnih zaliha, plana primitaka i plana narudžbi. Ove tablice služe kao osnovni alat za izradu efikasnog plana proizvodnje i transporta.

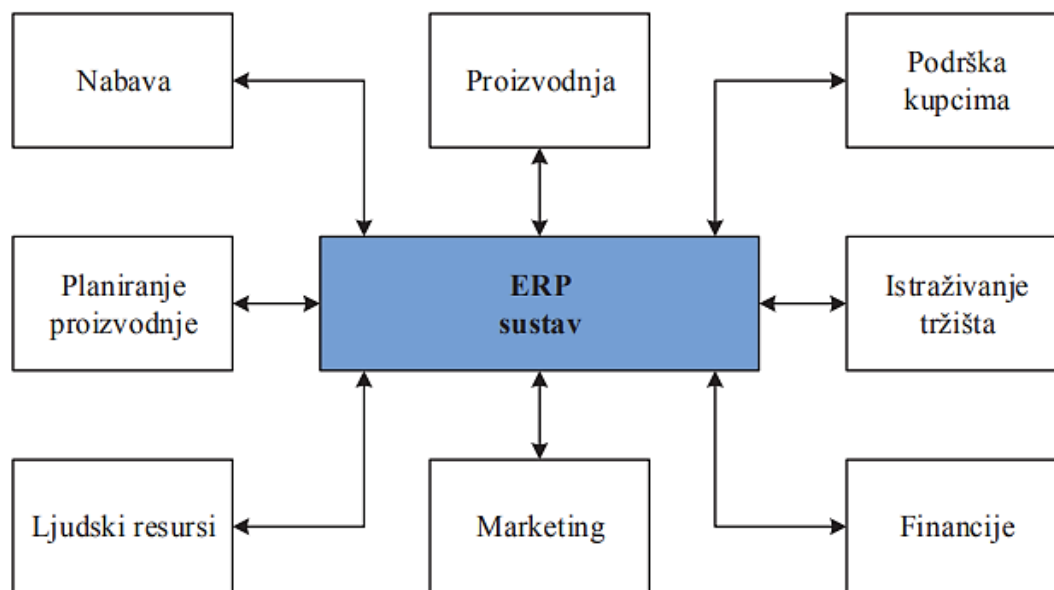
Primjer takve tablice (Tablica 3) prikazuje se u razdobljima, primjerice za devet tjedana, dok bi u praksi razdoblja mogla obuhvatiti čak 52 tjedna. Ove projekcije podložne su promjenama u potražnji, ali pružaju korisne informacije koje omogućuju prilagodbu plana distribucije te stvaranje učinkovitog i fleksibilnog logističkog sustava.

Tablica 3. Primjer DRP tablice

| | Mjesec | | | | Mjesec | | | | Mjesec |
|---------------------|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|
| Tjedan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Očekivana potražnja | | | | | | | | | |
| Raspored primitaka | | | | | | | | | |
| Završne zalihe | | | | | | | | | |
| Planirane narudžbe | | | | | | | | | |

4.3.2.4. Planiranje resursa poduzeća (ERP)

Planiranje resursa poduzeća (eng. Enterprise Resource Planning – u daljnjem dijelu teksta ERP) predstavlja napredan koncept upravljanja poslovnim procesima koji integrira različite funkcije unutar organizacije. Ovaj sustav se temelji na principima ranijih modela kao što su MRP I i MRP II, ali se izdvaja po svojoj sposobnosti da poveže informacije i komunikacijske tehnologije. ERP sustav omogućava povezivanje funkcija kao što su planiranje, nabava, prodaja, marketing, financije i ljudski resursi u jedinstveni informacijski sustav. Cilj ERP-a je pružiti pravovremene informacije o ključnim aspektima poslovanja, čime se omogućava učinkovita koordinacija poslovnih procesa.



Slika 19. Planiranje resursa poduzeća pomoću ERP sustava

Jedna od glavnih prednosti ERP sustava je njegova sposobnost predviđanja i uravnoteženja potražnje i nabave. Ovi sustavi pružaju alate za planiranje, predviđanje i terminiranje na razini cijelog poduzeća, čime se poboljšava učinkovitost operacija. Na primjer, unos narudžbe u ERP sustav automatski prilagođava zalihe, proizvodne rasporede i financijske evidencije, čime se postiže sinergija svih poslovnih procesa. Ova integracija omogućava bolju komunikaciju između kupaca i dobavljača unutar opskrbnog lanca.

ERP sustavi sastoje se od više modula koji pokrivaju specifične poslovne procese kao što su financije, proizvodnja, marketing i ljudski resursi. Svaki modul podržava određene operacije unutar poduzeća, a njihova povezanost omogućuje sinkronizaciju podataka u stvarnom vremenu. Na primjer, modul za proizvodnju može biti povezan s financijskim modulom kako bi osigurao dosljednost i točnost transakcija. Ova integracija rezultira bržim i preciznijim procesima donošenja odluka.

Usprkos izazovima implementacije ERP sustava, koji uključuju visoke troškove i potrebu za promjenama u poslovnim procesima, prednosti su značajne. ERP sustavi omogućuju potpunu vidljivost poslovnih operacija, poboljšavaju komunikaciju s partnerima te olakšavaju optimizaciju resursa. Integracija podataka rezultira preciznijom kontrolom zaliha i pravovremenim isporukama, što je ključno za održavanje konkurentnosti na tržištu.

Tehnički aspekti ERP sustava uključuju napredne značajke kao što su klijent-server arhitektura i podrška za donošenje odluka. Ovi sustavi često rade na široko rasprostranjenim platformama kao što su Windows ili Linux, što olakšava njihovu implementaciju. Iako zahtijevaju značajne resurse za implementaciju, ERP sustavi mogu unaprijediti operativnu učinkovitost i strateške

sposobnosti poduzeća, čineći ih ključnim alatom za moderne organizacije koje žele ostati konkurentne u dinamičnom globalnom okruženju. [1][2][14]

4.3.2.5. Sustav „Just-in-time“ (JIT)

Sustav JIT razvijen je u Japanu, prvenstveno kroz rad automobilske kompanije Toyota, s ciljem smanjenja troškova proizvodnje i povećanja produktivnosti eliminacijom neželjenih funkcija i praksi u proizvodnim procesima. Ova metoda, koja je svoj početak imala u automobilske industriji, danas se široko primjenjuje i u drugim sektorima proizvodnje i trgovine.

JIT sustav temelji se na proizvodnji i isporuci točno onoliko proizvoda koliko je potrebno u određenom trenutku, čime se smanjuje potreba za velikim zalihama. Njegova implementacija donosi niz prednosti, među kojima su:

- smanjenje troškova skladištenja,
- povećanje likvidnosti poduzeća,
- optimizacija poslovnih procesa i smanjenje nepotrebnih troškova.

Sustav funkcionira prema jednostavnom principu: proizvodi se točno ono što tržište zahtijeva, u trenutku kada je potrebno. Uspješna implementacija JIT-a zahtijeva povjerljive dobavljače, koji mogu pravovremeno dostaviti potrebne materijale. Osim toga, kontinuirano istraživanje tržišta i precizno planiranje proizvodnje ključni su za učinkovito funkcioniranje sustava.

Jedan od glavnih ciljeva JIT-a je eliminacija svih oblika rasipanja resursa, uključujući nepotrebno skladištenje, prekomjernu proizvodnju i produženo vrijeme isporuke. Njegova filozofija temelji se na tri osnovna principa:

1. Smanjenje vremena postavljanja i troškova kako bi male veličine serija postale ekonomične.
2. Eliminacija sigurnosnih zaliha jer skrivaju probleme poput neučinkovitih proizvodnih metoda.
3. Povezivanje produktivnosti i kvalitete – JIT zahtijeva visoku razinu kvalitete kako bi proizvodnja mogla teći bez prekida.

Japanske kompanije poput Toyote i Nissana poslale su svoje stručnjake u poduzeća-dobavljače kako bi osigurale bolju koordinaciju i pravovremene isporuke. Dugoročni ugovori s dobavljačima dodatno su doprinijeli stabilnosti i predvidljivosti procesa, smanjujući troškove naručivanja i povećavajući efikasnost opskrbnog lanca.

Jedan od ključnih alata JIT-a je Kanban sustav, koji omogućuje samoregulaciju proizvodnih jedinica putem kartica s informacijama o potrebnim materijalima. Kanban sustav koordinira radne centre, omogućujući pravovremenu proizvodnju i dostavu potrebnih dijelova bez

magomilavanja zaliha. Njegov osnovni princip glasi: „Proizvodi danas ono što je jučer potrošeno.“

Uvođenje JIT sustava donosi višestruke koristi, uključujući:

- smanjenje troškova držanja zaliha,
- povećanje obrtaja zaliha,
- bolju kontrolu kvalitete,
- kraće vrijeme isporuke,
- optimizaciju odnosa s dobavljačima i kupcima.

Primjena JIT-a rezultirala je značajnim uštedama za brojne kompanije. Na primjer, Huffy Corp. smanjio je zalihe s 69 milijuna na 36 milijuna dolara u roku od dvije godine, dok su Ford i Chrysler ostvarili uštede od stotina milijuna dolara. General Motors procijenio je da bi JIT mogao smanjiti njihove troškove skladištenja s 3 milijarde na 1 milijardu dolara godišnje.

JIT sustav predstavlja modernu, efikasnu metodu upravljanja proizvodnjom i zalihama, koja omogućava poduzećima smanjenje troškova, povećanje efikasnosti i poboljšanje konkurentske pozicije na tržištu. Korištenjem alata poput Kanban sustava i oslanjanjem na blisku suradnju s dobavljačima, JIT nudi rješenja za izazove modernog poslovanja i postavlja temelje za održiv i profitabilan rast. [3][14]

4.4. Informacijski sustavi i upravljanje zaliha

Informacijski sustav integrira prikupljanje, obradu i distribuciju podataka kako bi osigurao korisne informacije za donošenje odluka. Informacija, za razliku od podataka koji predstavljaju neobrađene činjenice, rezultat je analize i interpretacije podataka, čime postaje oblik znanja.

Elektronička razmjena podataka omogućuje brz i kvalitetan protok informacija između poslovnih subjekata, smanjuje troškove zaliha i administracije te osigurava točnu i pravovremenu isporuku sirovina i proizvoda. Ovakvi sustavi također smanjuju greške u naručivanju i omogućuju kontinuirani pristup narudžbama, što je osobito važno u internetskom poslovanju.

Informacije se prema vremenskoj usklađenosti dijele na trenutačne, relevantne i povijesne. Trenutačne informacije koriste se odmah nakon nastanka, relevantne osiguravaju znanje o događajima bez obzira na vrijeme nastanka, dok povijesne služe za analizu i stjecanje dodatnog znanja.

Sustav se odnosi na uređenost i pravila koja definiraju njegove dijelove, bilo da su u pitanju društveni ili biološki sustavi. U kontekstu poslovanja, informacijski sustavi omogućuju

učinkovito planiranje i upravljanje resursima te optimizaciju logističkih i operativnih procesa.[16]

4.4.1. Informacijski sustavi u upravljanju zalihama

Informacijski sustavi igraju ključnu ulogu u optimizaciji skladišnih prostora, opreme i transportnih sredstava. Automatizirana skladišta zamjenjuju ljudsku radnu snagu, pri čemu strojevi preuzimaju većinu operacija. Kako bi se osiguralo pravilno funkcioniranje takvih sustava, potrebno je implementirati kvalitetan logističko-informacijski sustav.

Logističko-informacijski sustav obuhvaća sve informacijske veze unutar logističkog sustava, omogućujući praćenje tijeka materijala i kontrole distribucije. Ciljevi sustava uključuju optimizaciju broja i veličine skladišta, količine zaliha, izbor transportnih sredstava i rute isporuke. Postoje tri osnovna oblika komunikacije unutar sustava:

1. **Usmeno komuniciranje**, koje se koristi za rješavanje složenih i hitnih problema;
2. **Pismeno komuniciranje**, koje omogućuje arhiviranje važnih poslovnih podataka;
3. **Elektroničko komuniciranje**, koje osigurava brz i učinkovit prijenos informacija putem informacijsko-komunikacijske tehnologije.

Kvalitetan informacijski sustav ključan je za upravljanje zalihama. On omogućuje prikupljanje i analizu podataka, definiranje ciljeva i odluka, kontrolu njihovog izvršenja, te smanjuje broj grešaka u poslovanju. Primjena elektroničke razmjene podataka ubrzava narudžbe, smanjuje troškove administracije i omogućuje neprekidan pristup informacijama o zalihama, čime se povećava učinkovitost logističkog sustava.

Računalni sustavi za upravljanje zalihama omogućuju rutinske operacije poput ažuriranja podataka o zalihama, generiranja narudžbi i izvještaja, te predviđanja potražnje. Primjenom ovih sustava, moguće je precizno odrediti kada i koliko naručiti, uzimajući u obzir promjene u potražnji i vremenu isporuke. Generirani izvještaji pružaju uvid u vrijednost zaliha, broj nestašica i učinkovitost ispunjenja narudžbi, omogućujući menadžerima donošenje informiranih odluka.

Osim toga, informacijski sustavi omogućuju donošenje strateških odluka poput određivanja lokacija i broja skladišta, kao i taktičkih odluka vezanih za izbor vozila, ruta i pakiranja. Operativne odluke, poput rasporeda pošiljki i pripreme transportne dokumentacije, također se oslanjaju na podatke prikupljene i analizirane kroz informacijske sustave. Na taj način, informacijski sustavi omogućuju učinkovito planiranje i upravljanje resursima, smanjujući ukupne troškove i povećavajući brzinu i točnost poslovanja. [1][16]

5. UMJETNA INTELIGENCIJA U UPRAVLJANJU ZALIHAMA I SKLADIŠTEM

U ovom poglavlju istražit će se uloga umjetne inteligencije (AI) u optimizaciji procesa upravljanja zalihama i skladištem. Poseban naglasak bit će stavljen na načine na koje AI tehnologije unapređuju točnost predviđanja potražnje, optimiziraju raspodjelu resursa i smanjuju operativne troškove. Uz teorijski pregled, bit će prikazano nekoliko studija slučaja koje demonstriraju praktičnu primjenu umjetne inteligencije u modernim skladišnim sustavima i lancima opskrbe.

5.1. Razvoj umjetne inteligencije

Umjetna inteligencija (UI) kao disciplina usmjerena je na razvoj sustava koji mogu obavljati zadatke povezane s ljudskom inteligencijom, poput rasuđivanja, učenja i obrade prirodnog jezika. Povijest umjetne inteligencije seže u sredinu 20. stoljeća. Kada je Alan Turing 1936. godine razvio teorijski koncept Turingovog stroja, koji je postao temeljem suvremenih računala. Njegova ideja o stroju sposobnom izvesti bilo koji računalni proces postavila je temelje za daljnji razvoj ove znanstvene grane. [25][26]

Tijekom povijesti, AI je prošla kroz nekoliko razvojnih faza. Rani radovi, poput Turingovog testa iz 1950. godine, postavili su ciljeve koji uključuju oponašanje ljudskog ponašanja i razmišljanja. Kasnije su razvijeni sustavi temeljem formalne logike i heuristika, poput programa za rješavanje problema, automatizirano rasuđivanje i planiranje akcija. Prvi značajan korak u praktičnoj primjeni bio je razvoj ekspertnih sustava tijekom 70-ih godina 20. stoljeća, koji su omogućili računalima obavljanje specifičnih zadataka unutar ograničenih područja.[24][26]

S pojavom neuronskih mreža i strojnog učenja 80-ih godina, UI je ušla u novu eru. Neuronske mreže, temeljem kojih se sustavi prilagođavaju na temelju iskustva, revolucionirale su područja poput prepoznavanja uzoraka, obrade prirodnog jezika i strojne percepcije. Duboko učenje ili engleski Deep learning, kao grana strojnog učenja, postao je dominantna tehnika tijekom 2010-ih godina zahvaljujući svojoj sposobnosti analize velikih količina podataka i izvedbe složenih zadataka. Ovaj pristup otvorio je vrata primjenama u autonomnim vozilima, medicinskoj dijagnostici i personaliziranom oglašavanju.[24][25][26]

Razvoj umjetne inteligencije tijekom proteklih desetljeća pokazuje izniman napredak, oblikujući suvremeno društvo i transformirajući način na koji percipiramo tehnologiju i njezinu ulogu u svakodnevnom životu.

5.2. AI i logistika

Upravljanje zalihama predstavlja ključni element svakog logističkog sustava i opskrbnog lanca. U posljednjih nekoliko godina, primjena umjetne inteligencije u ovom području transformirala je način na koji poduzeća upravljaju svojim resursima. AI omogućava poduzećima optimizaciju zaliha, smanjenje troškova te poboljšanje kvalitete usluga.

Jedan od najvažnijih aspekata primjene AI-a u upravljanju zalihama je predviđanje potražnje. AI sustavi koriste povijesne podatke, sezonske trendove i obrasce potrošnje kako bi kreirali točne prognoze buduće potražnje. Algoritmi strojnog učenja, poput XGBoost-a, analiziraju ove podatke te omogućuju poduzećima pravovremeno naručivanje i smanjenje rizika nestašica ili viška zaliha. Ovakav pristup dovodi do učinkovitijeg upravljanja resursima i smanjenja operativnih troškova.

AI omogućuje automatizaciju skladišta, smanjujući potrebu za ljudskim radom i povećavajući preciznost upravljanja zalihama. Sustavi koji koriste računalni vid i internet stvari (eng. Internet of Things – u daljnjem dijelu teksta IoT) tehnologije pružaju uvid u stvarno stanje skladišta u realnom vremenu. Na primjer, senzori u skladištu prate lokaciju i količinu zaliha te šalju podatke AI sustavima, omogućujući brzo donošenje odluka o narudžbama ili preraspodjeli resursa.

Primjena umjetne inteligencije u logistici uključuje optimizaciju ruta isporuke i transportnih kapaciteta. AI modeli, poput adaptivnih neuro-fuzzy sustava (ANFIS), omogućuju optimizaciju distribucijskih ruta, čime se smanjuju troškovi transporta i poboljšava učinkovitost isporuka. Uvođenje ovih tehnologija značajno je unaprijedilo sposobnost poduzeća da odgovore na potrebe tržišta na učinkovit i pravodoban način.

Primjena AI-a donosi brojne prednosti u upravljanju zalihama, uključujući:

- Smanjenje zaliha za prosječnih 20% zahvaljujući preciznijem planiranju.
- Povećanje profitabilnosti za 25% kod poduzeća koja su implementirala AI rješenja.
- Poboljšanje kvalitete usluga kroz smanjenje kašnjenja i bolje upravljanje inventarom.
- Smanjenje troškova skladištenja i povećanje fleksibilnosti logističkog sustava.

Unatoč brojnim prednostima, implementacija AI sustava u upravljanju zalihama suočava se s izazovima, poput visokih inicijalnih troškova, potrebe za obukom zaposlenika te integracije s postojećim sustavima. Međutim, dugoročne koristi nadilaze početne poteškoće, omogućujući poduzećima značajne uštede i strateške prednosti.[18][19][21]

Nadalje, brojni AI alati specifično dizajnirani za upravljanje zalihama omogućuju poduzećima unaprijeđene performanse i fleksibilnost. Među njima su najistaknutiji sustavi poput NetSuite Inventory Management, koji se fokusira na automatizaciju procesa i optimizaciju zaliha, te Ordoro, alat koji integrira predviđanje potražnje s optimizacijom distribucije. Ovi alati koriste napredne algoritme kako bi smanjili rizik od nestašica zaliha i omogućili brzo donošenje odluka temeljeno na stvarnim podacima.[30]

Još jedan primjer je Zoho Inventory, koji koristi prediktivnu analitiku za bolje praćenje zaliha i unapređenje iskustva krajnjih korisnika. Ovi alati omogućuju jednostavno praćenje zaliha u realnom vremenu, automatizaciju narudžbi i analizu trendova potražnje, što dodatno osigurava učinkovitost i točnost logističkog sustava. S obzirom na široki spektar funkcionalnosti, ovi alati postaju nezaobilazan dio modernog upravljanja zalihama.[30]

Umjetna inteligencija predstavlja revolucionarnu promjenu u načinu na koji poduzeća upravljaju zalihama i skladištima. Njezina primjena ne samo da povećava učinkovitost i smanjuje troškove, već i omogućuje bolje donošenje odluka te poboljšanje kvalitete usluga. S obzirom na brzi razvoj tehnologije, očekuje se da će uloga AI-a u ovom području nastaviti rasti, pružajući poduzećima još veću konkurentsku prednost. U Tablica 4 su prikazane neke od trenutnih AI alata koji se koriste za sustave upravljanja zalihama.

Tablica 4. AI alati za sustave upravljanja zaliha

| AI alat | Značajke | Prednosti | Nedostaci | Primjena |
|-------------------------------|--|---|---|-----------------------|
| Inventory AI | Pracćenje u stvarnom vremenu, prognoziranje potražnje, automatsko dopunjavanje zaliha | Povećava točnost zaliha, smanjuje nestajnice i višak zaliha | Nedostatak naprednih značajki za veća poduzeća | Maloprodajne trgovine |
| StockWise | Prediktivna analitika, optimizacija zaliha, ažuriranja u stvarnom vremenu | Optimizira razine zaliha, poboljšava točnost prognoze | Složeno postavljanje, zahtjeva visokokvalitetne podatke za najbolje rezultate | Veletrgovci |
| ClearSpider | Vidljivost zaliha, upravljanje narudžbama, automatski alarmi | Pružna vidljivost u stvarnom vremenu, pojednostavljuje upravljanje narudžbama | Visoki troškovi mogu biti problem za mala poduzeća | Proizvodne tvrtke |
| ReplenishBot | Automatsko dopunjavanje, prognoziranje potražnje na temelju unijetne inteligencije, upravljanje dobavljačima | Automatizira dopunjavanje zaliha, poboljšava koordinaciju s dobavljačima | Ograničene opcije prilagodbe za složenije poslovne procese | E-trgovine |
| Invensense | Pracćenje na temelju senzora, analitika u stvarnom vremenu, upozorenja o zalihama | Pracćenje zaliha u stvarnom vremenu, proaktivna upozorenja | Skupo postavljanje sustava uslijed hardverskih zahtjeva | Logističke tvrtke |
| SmartStock | Planiranje potražnje, optimizacija zaliha, AI analitika | Poboljšava planiranje potražnje, smanjuje višak zaliha | Zahijeva puno vremena za postavljanje i učenje | Maloprodajne trgovine |
| OptiStock | Prognoziranje zaliha, algoritmi optimizacije, integracija s ERP sustavima | Poboljšava točnost prognoze, integrira se s postojećim ERP sustavima | Ovisnost od ERP sustavima, što može smanjiti fleksibilnost | Distributeri |
| AI Inventory Assistant | Uvidi temeljeni na unijetnoj inteligenciji, revizije zaliha, automatsko izvješćivanje | Pružna korisne uvide, pojednostavljuje revizije zaliha | Ograničena skalabilnost za veća poduzeća | Mala poduzeća |
| RoboStock | Automatizacija robnih procesa, ažuriranja zaliha u stvarnom vremenu, prediktivno održavanje | Automatizira procese zaliha, smanjuje ručne pogreške | Visoki početni troškovi uslijed automatizacije robota | Skladišta |
| SmartShelf | Pracćenje polica, upozorenja o zalihama, AI analitika | Nadzire zalihe na policama, pruža upozorenja u stvarnom vremenu | Može zahtijevati često održavanje zbog senzora i opreme | Supermarketi |

5.2.1. Integracija AI-a u ERP sustave

Integracija AI-a s ERP sustavima predstavlja značajan iskorak u unaprjeđenju poslovnih procesa i donošenju odluka. AI tehnologije omogućuju ERP sustavima analizu velikih količina podataka u realnom vremenu, predikciju tržišnih trendova te automatizaciju rutinskih zadataka, čime se značajno povećava učinkovitost poslovanja.

Jedna od ključnih prednosti integracije AI-a u ERP sustave je mogućnost unaprijeđenog predviđanja potražnje i upravljanja zalihama. AI algoritmi koriste povijesne podatke, tržišne trendove i sezonske obrasce kako bi predvidjeli buduću potražnju, omogućujući pravovremeno planiranje resursa i smanjenje rizika od nestašica ili viškova zaliha. Nadalje, AI omogućuje optimizaciju opskrbnog lanca analizom podataka u stvarnom vremenu, što olakšava prilagodbu promjenama u potražnji i uvjetima na tržištu. Neke od ključnih prednosti su navedene u Tablica 5.

Tablica 5. Prednosti AI-a u ERP-u

| Ključne prednosti AI-a u ERP sustavima | |
|--|----------------------|
| Efikasnost operacija | Optimizacija procesa |
| Personalizirano iskustvo | Povećana sigurnost |
| Analitika podataka i uvidi | Ušteda na troškovima |

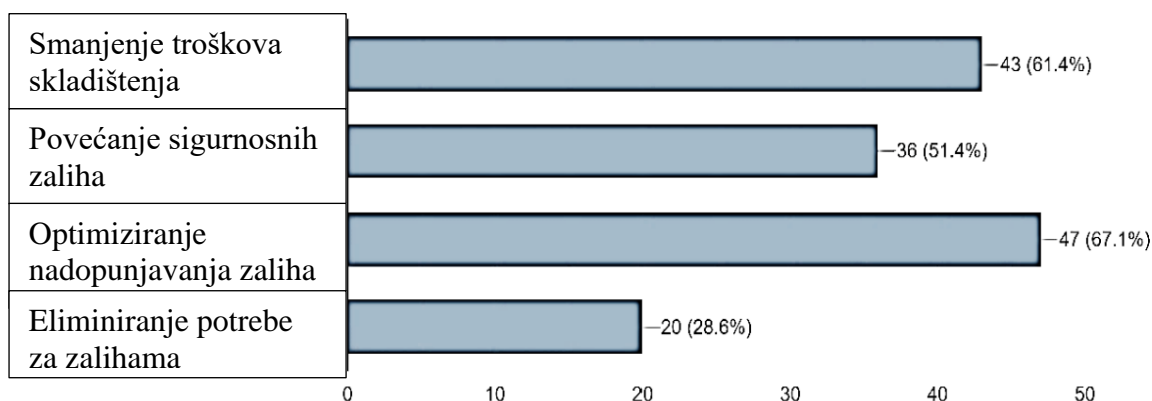
Integracija AI-a također unapređuje automatizaciju unutar ERP sustava. Automatizirani procesi, poput upravljanja fakturama, obrade narudžbi i raspoređivanja proizvodnje, omogućuju bržu i precizniju obradu podataka te smanjenje operativnih troškova. Osim toga, AI alati, poput chatbotova, poboljšavaju korisničku podršku unutar ERP sustava, omogućujući zaposlenicima i klijentima brže dobivanje informacija te olakšavajući rješavanje problema.

AI u ERP sustavima donosi i napredne analitičke mogućnosti. Primjenom strojnog učenja i prediktivne analitike, ERP sustavi mogu identificirati uzorke i anomalije u podacima te pružiti korisne uvide za donošenje strateških odluka. Na primjer, AI može analizirati podatke o prodaji kako bi identificirao profitabilne proizvode ili tržišta, omogućujući poduzećima bolje alociranje resursa.

Integracija AI-a u ERP sustave ne samo da optimizira poslovne procese, već i povećava sposobnost poduzeća da odgovore na izazove tržišta te pruže bolju uslugu klijentima. Očekuje se da će s daljnjim razvojem AI tehnologija ERP sustavi postati još moćniji alati za strateško upravljanje i unaprjeđenje poslovanja.[32][31]

5.3. Studija slučaja – Primjena umjetne inteligencije u rješavanju izazova upravljanju zalihama u proizvodnoj industriji

U ovoj studiji slučaja istražuje se upotreba AI-a u upravljanju zalihama unutar industrije proizvodnje. Cilj istraživanja bio je utvrditi kako AI može pomoći u rješavanju izazova povezanih s upravljanjem zalihama, uključujući optimizaciju razina sigurnosnih zaliha, poboljšanje procjena vremena dolaska proizvoda i efikasno obnavljanje zaliha. Podaci su prikupljeni putem upitnika koji su ispunili 70 sudionika iz industrije, a rezultati su pokazali da se AI smatra obećavajućim alatom za unapređenje praksi upravljanja zalihama.



Slika 20. Rezultati upitnika

Studija se fokusira na tri ključna aspekta primjene AI u upravljanju zalihama:

- planiranje obnavljanja zaliha
- procjena vremena dolaska
- upravljanje sigurnosnim zalihama.

AI koristi povijesne podatke i trenutne tržišne uvjete kako bi predvidio potražnju, identificirao potencijalne prekide u opskrbi i automatizirao procese naručivanja. Ovaj pristup omogućava tvrtkama da optimiziraju razine zaliha, smanje troškove skladištenja i izbjegnu situacije nedostatka zaliha.

Prema rezultatima istraživanja, oko 65% sudionika prepoznalo je da AI značajno poboljšava točnost procjena potražnje, dok je oko 78% istaknulo smanjenje troškova skladištenja kao ključnu prednost. Također, oko 82% sudionika smatra da AI doprinosi povećanju zadovoljstva kupaca kroz pouzdane procjene vremena isporuke.

Zaključci studije ukazuju na to da implementacija AI tehnologija može značajno poboljšati operativnu efikasnost u upravljanju zalihama. Sudionici su prepoznali da AI omogućava preciznije predikcije potražnje, što pomaže u smanjenju zaliha i troškova skladištenja, kao i u povećanju zadovoljstva kupaca kroz pouzdane procjene vremena isporuke. Ova studija

doprinosi razumijevanju kako AI može transformirati pristupe upravljanju zalihama, nudeći organizacijama smjernice za optimizaciju njihovih operacija i donošenje informiranih odluka temeljenih na podacima.

Osim toga, istraživanje naglašava važnost kontinuiranog usavršavanja AI sustava kako bi se osiguralo da ostanu relevantni u dinamičnom poslovnom okruženju. U tom kontekstu, preporučuje se daljnje istraživanje o praktičnim načinima implementacije AI rješenja u manjim poduzećima, kako bi se iskoristile prednosti koje AI nudi u upravljanju zalihama. Na taj način, organizacije svih veličina mogu poboljšati svoje operativne procese i postići održiv rast na tržištu.[20]

5.4. Studija slučaja – Strojno učenje u upravljanju skladištem

U ovoj studiji slučaja istražuje se primjena strojnog učenja (eng. Machine learning – u daljnjem dijelu teksta ML) u kontekstu upravljanja skladištima, s posebnim naglaskom na rješavanje dva ključna problema: problema dodjele skladišnih lokacija (eng. Storage location assignment problems – u daljnjem dijelu teksta SLAP) i problema odabira narudžbi (eng. Order picking problems – u daljnjem dijelu teksta OPP). Ovi problemi su od vitalnog značaja za optimizaciju operacija unutar skladišta, jer pravilna dodjela lokacija i efikasan odabir narudžbi mogu značajno utjecati na ukupne performanse lanca opskrbe.

Studija započinje analizom trenutnog stanja upravljanja skladištima, ističući složenost odluka koje se donose u vezi s prijemom, skladištenjem, odabirom narudžbi i isporukom proizvoda. U okviru Industrije 4.0, gdje je dostupnost podataka znatno povećana, a računalna snaga i kapaciteti pohrane postali su opsežniji, strojno učenje se nameće kao tehnologija koja može pomoći u rješavanju izazova planiranja skladišta. Istraživanje detaljno razmatra različite ML metode i algoritme koji se koriste za optimizaciju SLAP-a i OPP-a, uključujući pristupe kao što su nadzirano učenje, nenadzirano učenje i pojačano učenje.

Studija koristi sustavni pregled literature kako bi identificirala postojeće primjere primjene ML-a u upravljanju skladištima. Kroz analizu znanstvenih članaka, istraživači su mapirali različite metode, algoritme i izvore podataka koji se koriste u ML WMS. Ova analiza omogućila je prepoznavanje trendova i izazova unutar ovog novog istraživačkog područja.

Zaključak studije naglašava da su istraživanja o primjeni strojnog učenja u upravljanju skladištima još uvijek u ranoj fazi. Iako postoje primjeri uspješne implementacije ML-a za rješavanje SLAP-a i OPP-a, potrebno je dodatno istraživanje kako bi se bolje razumjeli potencijali i izazovi ove tehnologije. Studija također ukazuje na važnost razvoja podataka vođenih modela koji mogu poboljšati točnost procjena i operativnih pravila. Ovi modeli

omogućuju prepoznavanje obrazaca iz povijesnih podataka, što može rezultirati smanjenjem vremena obrade narudžbi i osiguravanjem pravovremenih isporuka kupcima.

U konačnici, ova studija pruža temelj za buduća istraživanja i razvoj inovativnih rješenja koja koriste strojno učenje za unapređenje procesa upravljanja skladištima, čime se doprinosi efikasnosti i konkurentnosti unutar industrije. [23]

5.5. Studija slučaja – Umjetna inteligencija u sustavima planiranja potreba poduzeća

Ova studija slučaja istražuje ulogu AI-a u optimizaciji opskrbnog lanca integracijom s ERP sustavima. Fokus je na unaprjeđenju predviđanja potražnje i upravljanja zalihama, uz isticanje rezultata i koristi koje AI može donijeti poduzećima u modernim poslovnim uvjetima.

Kroz analizu stvarnih poslovnih primjera, identificirani su ključni izazovi tradicionalnih sustava za upravljanje opskrbnim lancem, uključujući neprecizna predviđanja, česte nestašice zaliha, višak zaliha te visoke operativne troškove. Primjena AI-a omogućila je značajna poboljšanja, uključujući povećanje točnosti predviđanja potražnje za 15-20%, smanjenje učestalosti nestašica zaliha za 25-30%, te redukciju viškova zaliha za 20%. Optimizacija vremena isporuke i automatizacija procesa nabave dodatno su doprinijele učinkovitosti, uz smanjenje operativnih troškova za 10-12%.

Zaključci ove studije ukazuju na transformativni utjecaj AI-a na cjelokupnu opskrbnu mrežu. Integracija AI-a s ERP sustavima omogućila je poduzećima bolju kontrolu nad zalihama, precizniju alokaciju resursa i brže donošenje odluka temeljenih na podacima u stvarnom vremenu. Također, povećana transparentnost i fleksibilnost omogućuju organizacijama bolje suočavanje s tržišnim promjenama i nepredviđenim poremećajima.

Ova studija dodatno naglašava važnost ulaganja u kvalitetu podataka i tehnološku infrastrukturu kako bi se osigurao uspjeh u primjeni AI-a. Unatoč početnim izazovima, kao što su prilagodba zaposlenika novim sustavima i zahtjevi za visokokvalitetnim podacima, dugoročne koristi nadmašuju troškove, pružajući poduzećima konkurentsku prednost i značajne operativne uštede.[34]

6. ZAKLJUČAK

Upravljanje zalihama ključno je za osiguranje kontinuiteta poslovanja i optimalnog korištenja resursa. Tijekom rada analizirane su suvremene metode upravljanja zalihama, uključujući tradicionalne modele, kao što je EOQ, i napredne sustave poput MRP, JIT te integraciju umjetne inteligencije i ERP sustava. Posebna pažnja posvećena je utjecaju geopolitičkih čimbenika na opskrbne lance i važnosti prilagodljivih strategija u dinamičnom poslovnom okruženju.

Primjena umjetne inteligencije pokazala se ključnom za optimizaciju procesa upravljanja zalihama, smanjenje operativnih troškova i poboljšanje kvalitete usluge. Korištenjem AI tehnologija moguće je preciznije predvidjeti potražnju, upravljati sigurnosnim zalihama te unaprijediti učinkovitost skladišta. Uspješni primjeri implementacije, kao što su analize iz studija slučaja, potvrđuju kako AI donosi mjerljive koristi poduzećima, unatoč izazovima poput visokih inicijalnih ulaganja i potrebe za dodatnom edukacijom zaposlenika.

Zaključno, ovaj rad naglašava da je modernizacija upravljanja zalihama uz primjenu naprednih tehnologija neophodna za dugoročni uspjeh u današnjem globalnom tržištu. Kombinacija analitičkih metoda, automatizacije i umjetne inteligencije omogućuje poduzećima da ostanu konkurentna, smanjuju troškove i poboljšaju fleksibilnost svojih operacija.

LITERATURA

- [1] Slack, N., Chambers, S., Johnston, R.: Operations management 6th edition, Pearson Education Limited, 2010.
- [2] Russell & Taylor: Operations Management – Creating Value Along the Supply Chain, John Wiley & Sons, inc., 2011.
- [3] Barković, D: Uvod u operacijski management, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 1999.
- [4] Mrvica Mađarac, S: Nabavno poslovanje, Veleučilište „Lavoslav Ružička“ u Vukovaru, 2023.
- [5] Lysins, K., Farrington, B.: Procurement and Supply Chain Management 10th edition, Pearson Education Limited, 2020.
- [6] o9Solutions: What is Supplier Relationship Management (SRM), <https://o9solutions.com/articles/what-is-supplier-relationship-management/>, 2023.
- [7] Grandia, J., Groeneveld, S., Kuipers, B., Steijn, B.: Sustainable Procurement in Practice: Explaining the Degree of Sustainable Procurement from an Organisational Perspective, 2014.
- [8] Vetengl, M.: Operativno planiranje nabave, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Ekonomski fakultet u Osijeku, 2021.
- [9] Weise, D., Gilbert, M., McAdoo, M., Agarwal, S., Muchensturm, L.: How Geopolitics Changes the Procurement Equation, <https://www.bcg.com/publications/2024/geopolitics-changes-the-global-sourcing-equation>, 2024.
- [10] Divyabharathi, C., Latha, B.: Procurement System Using Blockchain, Sri Sairam Engineering College Chennai, 2022.
- [11] Feicheng, M., Guoliang, Z., Tao, L.: Electronic Supply Management Based of Information Lifecycle Management, School of information management, Wuhan, China, 2009.
- [12] Đukić, G.: Logistički menadžment, Upravljanje skladištima, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2023.
- [13] <https://www.shippingcollege.com/>, Warehousing and Inventory Management
- [14] Rebenišak, M.: Upravljanje zalihama u poduzeću Biovega d.o.o., Sveučilište sjever, 2021.

- [15] Đukić, G.: Logistički menadžment, Upravljanje zalihama, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2023.
- [16] Klopan, I.: Upravljanje zalihama, specijalistički završni rad, Veleučilište Baltazar, 2020.
- [17] Hokey, M.: The Essentials of Supply chain Management, New Bussines Concept and Applications, 2015.
- [18] Singh, N., Adhikari, D.: AI in inventory management: Applications, Challenges, and Opportunities, International journal for research, 2023.
- [19] Singh, N., Adhikari, D.: AI and IoT: Perspective on Inventory management, International journal for research, 2023.
- [20] Lakshimi, A., Keerthana, R., Pradeep, S., Krithika, J.: The use of Artificial Intelligence in Addressing Inventory Management Challenges in Manufacturing Industry, European Economic Letter, 2023.
- [21] Dhaliwan, N., Tomar, P., K., Joshi, A., Reddy, S., Hussein, A., Alazzam, M.,B.: A detailed analysis of use of AI in Inventory Management for technicaly better management, International Conference on Advence Computing and Innovative Technologies in Engineering, 2023.
- [22] Guan, Y., Huang, Y., Qin, H.: Inventory management optimization of green supply chain using IPSO-BPNN algorithm under the Artificial Intelligence, Wiley, 2022.
- [23] Furlan de Assis, R., Frias Faria, A., Thomasset-Laperriere, V., Santa-Eulalia, L., A., Ouhimmou, M., Ferreira, W. de P., Machine Learning in Warehouse Management: A survey, 5th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, 2024.
- [24] Valerjev, P.: Povijest i perspektiva razvoje umjente inteligencije u istraživanju uma, Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, 2006.
- [25] Jakob, J., Nikolić, M.: Razumijevanje umjetne inteligencija: Neki korelati stavova prema umjetnoj inteligenciji i umjetne inteligencija kao alat u procjeni ličnosti, Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023.
- [26] Putica, M.: Umjetna inteligencija: dvojbe suvremenog razvoja, Filozofski fakultet Sveučilišta u Mostaru. 2018.
- [27] Center, J.: How the pandemic changed inventory management, <https://www.sikich.com/insight/how-the-pandemic-changed-inventory-management/>, 2023
- [28] TADA: The impact of Supply Chain Disruptions on Inventory Management, <https://www.tadanow.com/blog/the-impact-of-supply-chain-disruptions-on-inventory-management>, 2024

-
- [29] Takyar, A.: AI in inventory management: Redefining inventory control for the digital age, <https://www.leewayhertz.com/ai-in-inventory-management/>
- [30] Redress Compliance: Top 10 AI tools for inventory management, <https://redresscompliance.com/top-10-list-of-ai-tools-for-inventory-management/>, 2024
- [31] Lawton, G.: How AI is shaping the future of ERP, <https://www.techtarget.com/searcherp/feature/How-AI-is-shaping-the-future-of-ERP>, 2023.
- [32] Demkovich, T., Pushkarska, Y.: Unveiling the Power of AI in ERP: Core Benefits and Advance Tools, <https://forbytes.com/blog/ai-in-erp/>, 2024.
- [33] Botero, D., Poggi, R.: War in Ukraine stifles post-pandemic trade revoceries in Europe and the United States, International Transport Forum, <https://www.itf-oecd.org/global-shocks-reshape-trade-routes-and-supply-chains>, 2023.
- [34] Aggarwal, P., Aggarwal, A.: AI-Driven Supply Chain Optimization in ERP Systems Enhancing Demand Forecasting and inventory Management, International Journal of Management, IT & engineering, 2023.