

# Planiranje robotiziranih logističkih procesa

---

**Kelava, Petra**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:447614>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



# **ZAVRŠNI RAD**

## **PLANIRANJE ROBOTIZIRANIH LOGISTIČKIH SUSTAVA**

### **ROBOTIC LOGISTICS PROCESSES PLANNING**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivona Bajor

Student: Petra Kelava

JMBAG: 0135260550

Zagreb, srpanj 2024.

## SAŽETAK

Završni rad s temom "Planiranje robotiziranih logističkih sustava" bavi se istraživanjem i analizom ključnih aspekata planiranja i implementacije robotizacije u suvremenim logističkim procesima. Rad započinje uvodom u temu, objašnjavajući važnost robotizacije u logistici te naglašava potrebu za inovacijama i učinkovitim planiranjem u ovom području.

U sljedećem poglavlju, detaljno su razmotrene osnove planiranja logističkih procesa, uključujući različite metode planiranja. Također, obrađene su vrste planiranja, s posebnim naglaskom na planiranje kapaciteta i planiranje uspješnosti, što je ključno za optimizaciju logističkih operacija.

U radu je nadalje naglasak na specifičnostima organizacije robotiziranih logističkih sustava, gdje je predstavljena povijest razvoja robotizacije u logistici te su opisane glavne tehnologije koje se koriste u skladišnim sustavima, kao što su automatizirana vođena vozila, autonomni mobilni roboti i automatizirani robotski viljuškari. Također, istražene su inovacije u sustavima dostave, uključujući upotrebu autonomnih bespilotnih letjelica (dronova) i automatskih kioska i ormarića.

Posebno poglavlje posvećeno je kompaniji DHL kao primjeru uspješnog korištenja robotiziranih logističkih sustava. Analizirani su primjeri kolaborativnih robota i DHL-ovog paketkoptera, uz prikaz vizije budućnosti logistike ove kompanije, koja uključuje napredne distribucijske i sortirne centre, kao i dostavu na posljednjoj milji.

U završnom dijelu rada, raspravljaju se ostali trendovi robotizacije u logistici, ističući kako tehnologije poput umjetne inteligencije, interneta stvari (IoT) i blockchaina oblikuju budućnost logističkih sustava. Rad zaključuje naglašavajući važnost kontinuiranog praćenja tehnoloških inovacija i prilagodbe logističkih procesa kako bi se postigla maksimalna efikasnost i konkurentnost u globalnom poslovnom okruženju.

Zagreb, 12. srpnja 2024.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Planiranje logističkih procesa**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7614

Pristupnik: **Petra Kelava (0135260550)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Planiranje robotiziranih logističkih procesa**

### Opis zadatka:

U radu će se istaknuti relevantni procesi vezani za planiranje logističkih robotiziranih procesa. Istaknuti će se napredni sustav implementirani u svijetu, prikazati postojeći procesi kod odabranog proizvođača te istaknuti prednosti i optimizaciju.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Ivona Bajor

# SADRŽAJ

## Sadržaj

Uvod.....	4
<b>2. Osnove planiranja logističkih procesa.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Metode planiranja logističkih procesa .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Opća metoda planiranja logističkih procesa .....	6
2.1.2 Metoda planiranja logističkih procesa u funkciji distribucijskih kanala .....	8
2.1.3 Metoda planiranja logističkih procesa u funkciji opskrbnih lanaca .....	11
2.1.4 Metode planiranja logističkih procesa u funkciji vremena.....	13
<b>2.2 Vrste planiranja logističkih procesa.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Planiranje kapaciteta .....	15
2.2.2 Pokazatelji uspješnosti .....	16
<b>3. Specifičnosti organizacije robotiziranih logističkih sustava .....</b>	<b>18</b>
3.1 Povijest robotiziranih logističkih sustava .....	18
3.2 Robotizacija u skladišnim sustavima .....	19
3.2.1 Automatizirana vođena vozila.....	20
3.2.2 Autonomni mobilni roboti .....	22
3.2.3 Automatizirani robotski viljuškari .....	26
3.3 Robotizacija u sustavima dostave .....	29
3.3.1 Autonomne bespilotne letjelice (dronovi).....	30
3.3.2. Automatski kiosci i ormarići .....	32
<b>4. DHL kao primjer robotiziranog logističkog sustava .....</b>	<b>35</b>
4.1 Kolaborativni roboti.....	36
4.2 DHL-ov Paketkopter.....	39
4.3 Vizija budućnosti u logistici DHL-a.....	41
4.3.1. Distribucijski centri.....	41
4.3.2 Sortirni centri .....	43
4.3.3 Dostava na posljednjoj milji .....	44
<b>5. Ostali trendovi robotizacije.....</b>	<b>46</b>
5.1. Novi trendovi tehnologija.....	46
5.2 Amazon i Kiva roboti.....	48
5.2.1 Sistem rada Kiva robota .....	49
5.2.2 Prednosti i nedostaci Kiva robota.....	51

<b>Literatura</b> .....	53
<b>Popis slika</b> .....	55

## Uvod

Uvođenje robotizacije u logističke sustave predstavlja jednu od najznačajnijih tehnoloških revolucija u suvremenoj industriji. S obzirom na sve veću potrebu za učinkovitijim, bržim i ekonomičnijim procesima u opskrbnim lancima, planiranje robotiziranih logističkih sustava postalo je ključan faktor za postizanje konkurentske prednosti. Ovaj završni rad bavi se analizom planiranja logističkih procesa u kontekstu robotizacije, razmatrajući specifične metode i vrste planiranja te posebnosti organizacije takvih sustava.

Prvo poglavlje rada pruža uvod u temu i postavlja temelje za daljnju analizu. U drugom poglavlju, detaljno se obrađuju osnove planiranja logističkih procesa, ključne metode planiranja poput analize scenarija i simulacija, kao i vrste planiranja s fokusom na planiranje kapaciteta i pokazatelje uspješnosti.

Treće poglavlje posvećeno je specifičnostima organizacije robotiziranih logističkih sustava, gdje se istražuje povijest razvoja tih sustava, kao i njihova primjena u skladišnim i dostavnim operacijama. Detaljno se razmatraju različite vrste robota, poput automatiziranih vođenih vozila, autonomnih mobilnih robota, automatiziranih robotskih viljuškara, dronova, te automatskih kioska i ormarića.

Četvrto poglavlje fokusira se na praktični primjer primjene robotizacije u logistici kroz analizu DHL-a, jednog od pionira u ovoj oblasti. Posebna pažnja posvećena je upotrebi kolaborativnih robota i inovativnih rješenja poput Paketkoptera.

U petom poglavlju analiziraju se ostali trendovi u robotizaciji logistike, dok se u zaključku sumiraju ključni nalazi rada i daje pregled budućih smjerova razvoja u ovom dinamičnom području. Rad će nastojati pokazati kako pravilno planiranje i implementacija robotiziranih sustava može unaprijediti učinkovitost i fleksibilnost logističkih procesa, postavljajući temelje za buduće inovacije

## 2. Osnove planiranja logističkih procesa

Proces planiranja logističkih procesa ključni je dio u organizaciji istih. Podrazumijeva upravljanje opskrbnim lancem, organizaciju i usklađivanje robnih tokova od dobavljača do krajnjeg korisnika. Identificirajući prednosti i nedostatke te odabirući optimalne i, u svakom aspektu, korisne odluke, planiranje logističkih procesa od velike je važnosti pri donošenju odluka o budućim aktivnostima određenog poslovanja. Osim proizvodnje, transporta i distribucije, također se podrazumijeva planiranje i svih tehnologija koje sudjeluju u spomenutim procesima. Planiranje logističkih procesa odvija se u idućim fazama: uočavanje problema, definiranje ciljeva, predviđanje budućeg stanja, identifikacija i evaluacija mogućih rješenja te odabir najboljeg rješenja. U elemente planiranja logističkih procesa ubrajaju se: predviđanje i planiranje potražnje, planiranje proizvodnje, transporta, distribucije, zaliha, prodaje i opskrbnih lanaca. Planiranje logističkih procesa izuzetno je važno jer osigurava učinkovitost, ekonomičnost i pouzdanost u opskrbnom lancu. Kroz pažljivo planiranje, organizacije mogu predvidjeti potrebe, optimizirati resurse i minimizirati troškove, što doprinosi konkurentnosti i zadovoljstvu kupaca. Prvo, planiranje omogućuje optimalno korištenje resursa kao što su skladišta, vozila i radna snaga, čime se izbjegavaju nepotrebni troškovi i operativna uska grla. Drugo, precizno planiranje kapaciteta pomaže u balansiranju ponude i potražnje, smanjujući rizik od nedostatka zaliha ili prekomjernih zaliha, što može dovesti do gubitaka. Osim navedenih prednosti, planiranje logističkih procesa omogućuje bolje upravljanje rizicima u određenom poduzeću. Na primjer, identifikacijom potencijalnih problema unaprijed, organizacije mogu razviti alternativne strategije za suočavanje s nepredviđenim situacijama, poput prekida u opskrbi ili promjena na tržištu. Preciznim određivanjem vremena isporuke i točnošću u ispunjavanju narudžbi, tvrtke mogu poboljšati zadovoljstvo kupaca, što je ključno za dugoročni uspjeh i lojalnost kupaca. U ovom će poglavlju biti detaljno opisane metode i vrste planiranja logističkih procesa.



## **2.1 Metode planiranja logističkih procesa**

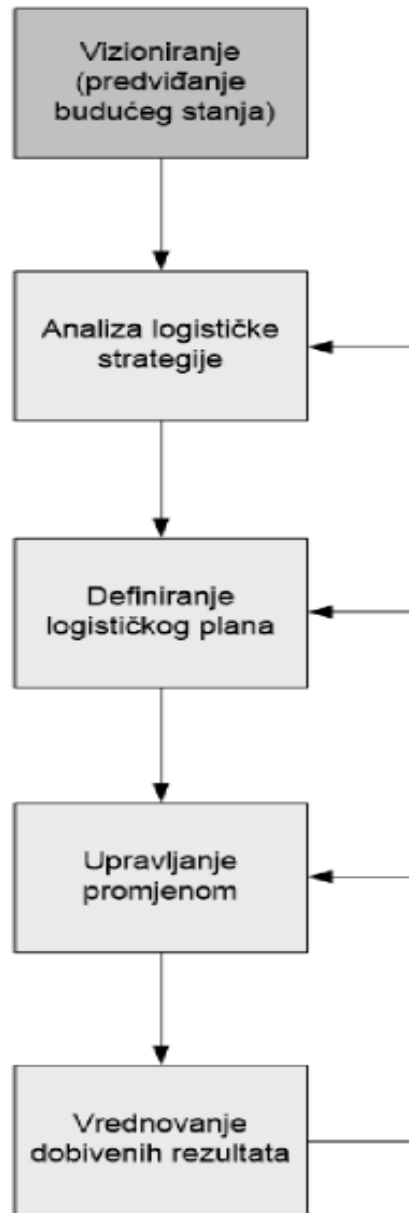
Metode planiranja logističkih procesa predstavljaju neophodni dio u planiranju. Uvođenjem i primjenom određene metode planiranja, postiže se učinkovitije i pouzdanije poslovanje određenog poduzeća, što rezultira pružanjem bolje usluge za krajnjeg korisnika. Za poslovanje same tvrtke, korištenje metoda planiranja omogućava unaprjeđivanje operativnih procesa, a samim time i smanjenje operativnih troškova, što u konačnici povećava konkurentnost određenog poduzeća na tržištu. Metode planiranja biraju se ovisno o specifičnim potrebama poslovanja, a to su: opća metoda planiranja logističkih procesa, metode planiranja logističkih procesa u funkciji distribucijskih kanala, metode planiranja u funkciji opskrbnih lanaca te metode planiranja logističkih procesa u funkciji vremena.

### **2.1.1 Opća metoda planiranja logističkih procesa**

Prvi se korak u općoj metodi planiranja logističkih procesa temelji na predviđanju budućeg stanja. Tim se korakom definira strateško usmjerenje poduzeća, uvažavaju se potrebe krajnjih korisnika te se istražuju vanjski čimbenici poput transportnih usluga, zakonodavnih ograničenja i konkurencije. Ovaj je korak također važan za definiranje novih logističkih mogućnosti i opsega planiranja jer podrazumijeva planiranje budućih akcija, uključujući definiranje potreba korisničke usluge, planiranje aktivnosti za sljedeće dvije godine, istraživanje alternativnih rješenja i pregled logističkog plana.

Nakon koraka predviđanja slijedi analiza logističke strategije. Analiza same strategije omogućuje konkretno odabir najboljih logističkih aktivnosti. Također, ista postavlja temelje za izradu samog logističkog plana, koji u konačnici definira ciljeve, programe i aktivnosti koje su potrebne za postizanje tih istih ciljeva u narednoj godini.

Posljednji korak opće metode planiranja logističkih procesa jest upravljanje promjenom. Upravljanje promjenom podrazumijeva osiguravanje učinkovite provedbe strategije te prilagodbu organizacije. Ključni su jasan plan, snažno vodstvo, kontinuirano obrazovanje kao i napredovanje zaposlenika kako bi se uspješno nosili s promjenama. Na slici 1 shematski je prikazana prethodno opisana metoda. [1]



Slika 1. Skica opće metode planiranja logistički procesa, [1]

## 2.1.2 Metoda planiranja logističkih procesa u funkciji distribucijskih kanala

Metoda planiranja logističkih procesa u funkciji distribucijskih kanala u daljnjem je tekstu opisana u osam koraka te je shematski prikazana slikom 2 koja se nalazi nakon teksta. Prvi korak u izradi distribucijske mreže je osigurati da proizvod ili usluga imaju pravu vrijednost za krajnje korisnike, odnosno istražiti što se sve može prodati za neku vrijednost. Bez obzira na inovaciju i kvalitetno osmišljen distribucijski sustav, ukoliko ne postoji potražnja od strane krajnjih korisnika, ni najadekvatnija distribucija neće ostvariti ciljanu prodaju. Svi sudionici distribucijskog lanca, uključujući prodavače, distributere i druge, mogu prepoznati proizvode slabije vrijednosti, a distribucija ne može dugoročno učiniti slab proizvod uspješnim, za razliku od marketinga koji kratkoročno može povećati prodaju.

Drugi korak je analiza segmenata krajnjih potrošača. U ovom bi koraku fokus trebao biti na otkrivanju što krajnji korisnici žele u vezi s uslugama, bez obzira na postojeće kanale. Kako tržište nije homogeno, važno je usredotočiti se na segmente koji dijele zajedničke potrebe.

Nakon što se identificiraju želje krajnjih korisnika, analiza segmentacije može se provesti na dva načina. Prvo, ispitanici se mogu podijeliti na unaprijed definirane segmente sukladno čemu bi se analizirali njihovi kupovni obrasci. Drugo, podaci se mogu koristiti za definiranje segmenata na temelju stvarnih preferencija krajnjih korisnika. Drugi je način često učinkovitiji jer omogućuje segmentaciju temeljenu na stvarnim kupovnim navikama, umjesto na pretpostavljenim karakteristikama. Treći korak u procesu naglašava skupine čimbenika kupovine ili usluga koje definiraju određeni segment. Primjerice, potrošači koji kupuju trajnu robu poput televizora ili hladnjaka mogu biti privučeni atributima poput vrlo niske cijene, samo-usluge, širokog izbora asortimana, ograničene post prodajne podrške i dostupnosti višestrukih robnih marki. Takve karakteristike više odgovaraju poslovanju diskontnih dućana, gdje su kupci spremni riskirati dodatne pogodnosti za nižu cijenu.

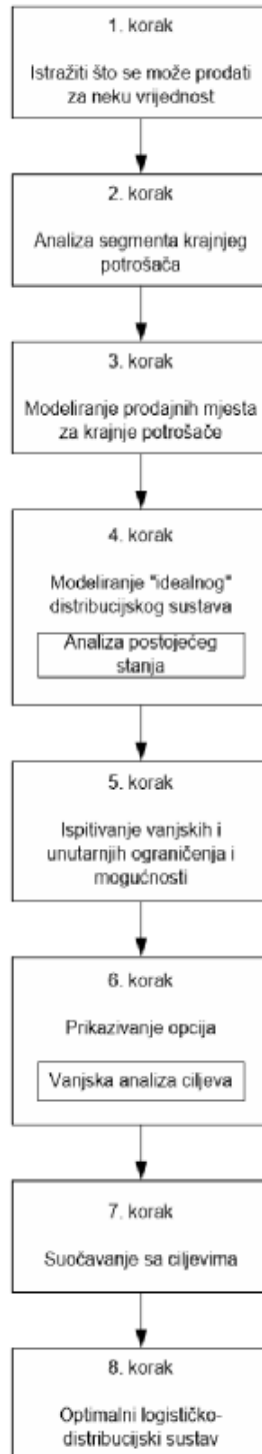
S druge strane, za industrijsku robu, kao što su predmeti održavanja i popravaka, skup ključnih čimbenika može uključivati umjerene cijene, hitnu isporuku, produžene kreditne rokove, širok asortiman, lokalno održavane zalihe, jednostavnost naručivanja i povremeni stručni savjet. Ove karakteristike više odgovaraju industrijskom distributeru punih usluga nego distribucijskom centru proizvođača, gdje kupci traže potpunu uslugu i dostupnost, i spremni su platiti više za navedene mogućnosti.

Prilikom sakupljanja podataka u prethodnom koraku važno je obuhvatiti što više usluga za analizu, jer ukoliko krajnji korisnici nemaju priliku procijeniti vrijednost određenih atributa, ti atributi neće biti uzeti u obzir u daljnjoj analizi. U konačnici, da bi neki atribut utjecao na definiranje skupa karakteristika u ovom koraku, prethodno bi trebao biti prepoznat i vrednovan.

Do sada je naglasak bio na grupiranju usluga prema tržišno orijentiranim prodajnim mjestima kao i na njihovoj prilagodbi u skladu s krajnjim korisnicima. Važno je procijeniti je li moguće povezati statistički dobivene atribute s prodajnim mjestima, kao što je učinjeno u trećem koraku. To često zahtijeva konzultacije s osobama koje su dobro upoznate s takvim prodajnim mjestima. Negativne reakcije u ovom procesu ne trebaju se smatrati konačnima. Također, potrebno je identificirati napore potrebne za isporuku usluga relevantnim segmentima kroz odgovarajuća prodajna mjesta. Prodajna mjesta nisu izolirana, već su dio cjelokupnog distribucijskog sustava, koji osigurava njihovu funkcionalnost. Ključni zadatak ovog koraka jest odrediti što je potrebno u smislu resursa, rada i financijskih sredstava kako bi se zadovoljili zahtjevi krajnjih korisnika i na kraju se, treba razmotriti konačno pitanje proizvodnje ili nabave, s obzirom na pune troškove distribucije. U četvrtom koraku dolazi do detaljnije vremenske procjene kada se izrađuje idealni marketinški kanal i analizira postojeći sustav. U petom koraku potrebno je uzeti u obzir ekološke čimbenike i upravljačke predrasude, ciljeve i ograničenja. Ovaj korak je podijeljen na dva dijela. U prvom se dijelu petog koraka ocjenjuju vanjski ekološki čimbenici koji utječu na strukturu kanala. Istraživanja pokazuju da je s povećanjem složenosti i nesigurnosti okoline potrebna veća kontrola nad ponašanjem članova kanala, ali i fleksibilnost za prilagodbu promjenama na tržištu, što često izaziva napetosti. U drugom se dijelu petog koraka fokusira na analizu poduzeća, gdje se procjenjuje spremnost na rizik, unutarnja politika, organizacijska struktura i kultura. Ovi faktori moraju biti adekvatno shvaćeni kako bi se mogli primijeniti konačni rezultati i preporuke. Na kraju petog koraka razlikuju se tri moguća distribucijska sustava: idealni sustav usmjeren na kupce, postojeći sustav i sustav vođen upravom. U šestom koraku, ova tri sustava se uspoređuju kroz analizu jaza.

U prvom slučaju, kada su postojeći i idealni sustavi vrlo slični, uprava može zaključiti da je trenutni sustav dobro osmišljen, ali eventualni problemi leže u konkretnoj provedbi. U drugoj situaciji, gdje postoji djelomično podudaranje, sustav uprave se razlikuje od idealnog sustava što upućuje na to da upravljački ciljevi i ograničenja uzrokuju razlike. U trećem slučaju, gdje se sva tri sustava znatno razlikuju, moguće je poboljšati zadovoljstvo korisnika uz manja prilagođavanja ciljeva uprave, ali popuštanje tih ograničenja moglo bi donijeti još veće prednosti. U sedmom koraku, uprava poduzeća se suočava s razlikama između trenutnog položaja distribucijskog sustava i idealnog. Ovo je ključna faza procesa, gdje se svi relevantni viši upravitelji okupljaju kako bi ocijenili svoj rad i, ukoliko je potrebno, promijenili pristup ili organizaciju. Sastanak je ključan za prezentaciju "idealnog" distribucijskog sustava i rezultata iz prethodnih koraka. Shodno tome, uprava preispituje ciljeve i ograničenja koja su odstupala od ideala i analizira njihov utjecaj na sustav.

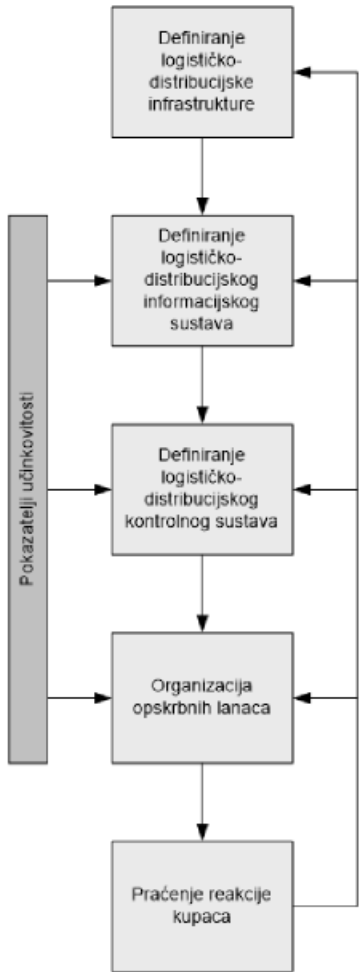
U osmom koraku razvija se optimalni distribucijski sustav, koji uzima u obzir preostale ciljeve i ograničenja uprave. Iako možda neće biti savršen, ovaj će sustav najviše zadovoljiti potrebe korisnika i standarde uprave te biti učinkovitiji i prilagodljiviji od prethodnog. [1]



Slika 2. Skica metode planiranja logističkih procesa u funkciji distribucijskih kanala, [1]

### 2.1.3 Metoda planiranja logističkih procesa u funkciji opskrbnih lanaca

Promatrajući logistički sustav u cjelini, ključno je prepoznati važnost funkcioniranja lanaca opskrbe, koji zahtijevaju posebnu pažnju. Ova metoda planiranja u središnju ulogu stavlja opskrbne lance, što zahtijeva pažljivu organizaciju i planiranje. Organizacija lanaca opskrbe ne može se odvijati odvojeno, pa je potrebno uskladiti planiranje logističke infrastrukture, informacijskog sustava i sustava kontrole, pri čemu se prate reakcije krajnjih korisnika kako bi se sustav dodatno prilagodio njihovim potrebama. Slika 3 prikazuje nadalje opisanu metodu planiranja. U dinamičnoj tržišnoj ekonomiji, industrija i trgovina sve više teže smanjenju troškova kroz fleksibilno korištenje resursa, uz stalni porast outsourcinga što posljedično zahtijeva elastično korištenje logističke infrastrukture za savladavanje vršnih opterećenja. Promjene u logističkoj infrastrukturi rezultiraju proširenjem njezinih funkcija kako bi se prilagodile potrebama tržišta, čime se postiže nova kvaliteta. Logistička infrastruktura, zahvaljujući racionalizaciji troškova i unapređenju marketinške pozicije, pozitivno utječe na ekonomski razvoj. Planiranje i iskorištavanje logističke infrastrukture složen je zadatak zbog kompleksne strukture i različitih ciljeva sudionika, poput pružatelja usluga, zaposlenika, industrijskih i trgovačkih poduzeća, građana i lokalne uprave. Svaka od ovih skupina ima različite prioritete, poput gospodarskog razvoja, smanjenja prometnih gužvi ili poboljšanja ekoloških uvjeta. Cilj informacijskih tehnologija je povezivanje svih članova lanca opskrbe, od nabave sirovina do isporuke proizvoda, uz sinkronizaciju toka informacija i robe. Time se omogućuje praćenje i planiranje vremena potrebnog za realizaciju zahtjeva, uz osiguravanje pristupa informacijama o statusu proizvoda. Upravljanje lancima opskrbe zahtijeva sveobuhvatnu analizu, praćenje performansi, prikupljanje globalnih iskustava i razvoj optimalnog sustava menadžmenta. Struktura mreže, poslovni procesi i upravljačke komponente lanca opskrbe ključni su elementi za postizanje konkurentnosti. Upravljanje ovim lancem ovisi o različitim čimbenicima, poput složenosti proizvoda, broja dobavljača i dostupnosti resursa, što zahtijeva pažljivo planiranje i koordinaciju. Sudionici u lancima opskrbe uključuju sva poduzeća povezana od početne do krajnje točke lanca. Potrebno je razlikovati primarne članove lanca, koji obavljaju ključne operativne i upravljačke aktivnosti, od sekundarnih članova koji pružaju podršku, poput banaka ili dobavljača opreme. Strukturne dimenzije mreže lanaca opskrbe - horizontalna, vertikalna i pozicija središnjeg poduzeća - oblikuju način na koji se lanac funkcionalno organizira i upravlja. [2]



Slika 3. Skica metode planiranja logističkih procesa u funkciji opskrbnih lanaca, [1]

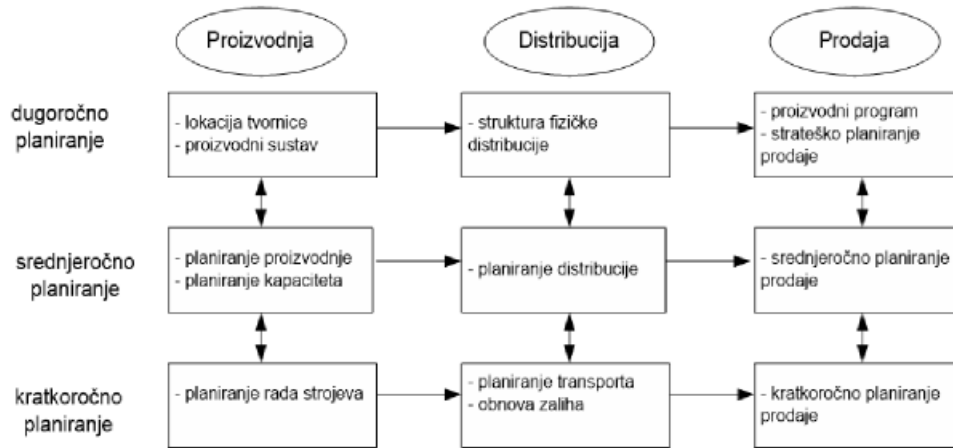
## 2.1.4 Metode planiranja logističkih procesa u funkciji vremena

Metoda planiranja logističkih procesa u funkciji vremena usmjerena je na planiranje procesa ovisno o vremenskim rasponima. Ova metoda objašnjava kratkoročno, srednjoročno i dugoročno planiranje te je isto prikazano slikom 4. Opisuje faze proizvodnje, distribucije i prodaje sukladno vremenskom rasponu tj. odabranom planiranju. Ukoliko se radi o dugoročnom planiranju, odluka o asortimanu proizvoda tvrtke mora se temeljiti na dugoročnim prognozama koje predviđaju potencijalnu prodaju cijelog portfelja. Takve prognoze uzimaju u obzir odnose između postojećih proizvoda i budućeg razvoja, kao i mogućnosti na novim tržištima. Često je potrebno razraditi različite scenarije ovisno o izboru asortimana. Dugoročne prognoze uključuju razmatranje životnog vijeka proizvoda te ekonomskih, političkih i konkurentskih faktora. Budući da nije moguće precizno procijeniti dugoročnu prodaju za svaki pojedini proizvod, proizvodi se grupiraju prema sličnim karakteristikama prodaje i proizvodnje.

U analizi treba uzeti u obzir marginalne profite i fiksne troškove imovine. Kako se proizvodni kapaciteti sve više koncentriraju zbog velikih ulaganja, raste udaljenost između proizvodnih postrojenja i kupaca, što povećava troškove distribucije. Ovi trendovi i promjene u okolini zahtijevaju prilagodbu distribucijskog sustava. Fizička struktura obuhvaća broj i veličinu skladišta, cross-docking točke i transportne veze. Ključni ulazni podaci za donošenje odluka uključuju asortiman proizvoda, prognoze prodaje, kapacitet proizvodnih postrojenja i troškovnu strukturu. Cilj je smanjiti dugoročne troškove transporta, zaliha, rukovanja i ulaganja u imovinu. Odluka o tome hoće li se prijevoz obavljati vlastitim vozilima ili angažiranjem treće strane usko je povezana s organizacijom distribucijskog sustava, stoga ove dvije odluke treba integrirati u jedinstveni model. Srednjoročno planiranje prodaje fokusira se na prognozu potencijalne prodaje za grupe proizvoda unutar određenih područja. Proizvodi se grupiraju prema sličnim proizvodnim karakteristikama, a prognoze se obično izrađuju na tjednoj ili mjesečnoj osnovi, najčešće za razdoblje do jedne godine. Učinci marketinških aktivnosti i promotivnih kampanja također se uzimaju u obzir. Kvaliteta prognoze direktno utječe na potrebne sigurnosne zalihe, koje se određuju na temelju procijenjene pogreške u prognozi. Srednjoročno planiranje distribucije uključuje planiranje transporta između skladišta i određivanje razina zaliha. Plan osigurava da se zadovolji predviđena potražnja uzimajući u obzir raspoložive kapacitete za prijevoz i skladištenje, dok istovremeno optimizira troškove. Planiranje osoblja procjenjuje potrebne radne kapacitete za različite faze proizvodnje. Ovo planiranje uzima u obzir specifične vještine i raspoloživost radnika, te, u slučaju nedostatka, identificira potrebu za dodatnim zaposlenicima. U make-to-stock sustavu, kratkoročno planiranje proizvodnje uključuje ispunjavanje narudžbi iz postojećih zaliha. Zaliha se dijeli na angažiranu i dostupnu količinu za isporuku (ATP). Kada kupac naruči proizvod, prodavatelj provjerava može li se narudžba ispuniti iz ATP-a te rezervira traženu količinu. ATP za buduće narudžbe izračunava se dodavanjem raspoložive zalihe i planirane proizvodnje. Capable-to-promise proširuje ovu funkcionalnost tako da omogućuje stvaranje novih proizvodnih narudžbi. Kratkoročno planiranje distribucije precizno određuje dnevne količine za nadopunjavanje skladišta



i organizira prijevoz prema stvarnim narudžbama, vodeći računa o transportnim kapacitetima i optimizaciji troškova. [2]



Slika 4. Skica metode planiranja logističkih procesa u funkciji vremena, [1]

## **2.2 Vrste planiranja logističkih procesa**

U narednom će poglavlju biti obrađeni ključni aspekti upravljanja proizvodnim procesima i optimizacijom poslovanja, koji su od vitalne važnosti za uspješno funkcioniranje svakog poduzeća. Planiranje resursa, planiranje kapaciteta te usklađivanje kapaciteta s potražnjom predstavljaju tri temeljna područja koja omogućuju učinkovito upravljanje proizvodnim i logističkim procesima. Planiranje resursa odnosi se na strateško upravljanje materijalima, radnom snagom i opremom koja je potrebna za proizvodnju i isporuku proizvoda ili usluga. To uključuje procjenu dostupnosti resursa, njihovu optimalnu raspodjelu te predviđanje budućih potreba kako bi se osigurala kontinuirana proizvodnja bez zastoja ili gubitaka. Planiranje kapaciteta fokusira se na određivanje optimalne količine proizvodnih kapaciteta potrebnih za ispunjavanje trenutne i buduće potražnje. To uključuje analizu proizvodnih mogućnosti, procjenu radne snage i tehnologije te usklađivanje s dugoročnim poslovnim ciljevima. Pravovremeno planiranje kapaciteta omogućuje poduzeću da se prilagodi promjenama na tržištu te izbjegne probleme poput prekomjernog ili nedovoljnog korištenja resursa. Usklađivanje kapaciteta i potražnje predstavlja izazov za svako poduzeće jer zahtijeva balansiranje između raspoloživih resursa i promjenjive potražnje na tržištu. To uključuje prilagodbu proizvodnje, optimizaciju zaliha te upravljanje odnosima s dobavljačima i kupcima kako bi se osigurala pravovremena isporuka proizvoda uz minimalne troškove.

### **2.2.1 Planiranje kapaciteta**

Jedna od najvažnijih metoda u planiranju logističkih procesa je planiranje kapaciteta. Ovo planiranje uključuje analizu i osiguranje adekvatnih resursa kao što su skladišni prostori, vozila i radna snaga kako bi se zadovoljili zahtjevi tržišta i izbjegli uska grla u operacijama. Precizno planiranje kapaciteta pomaže u održavanju ravnoteže između ponude i potražnje te minimizira operativne troškove. Logistički kapaciteti u procesima opskrbe imaju ključnu ulogu u održavanju efikasnosti i učinkovitosti poslovanja. Kapaciteti se mogu definirati kao najveća količina robe koja se može smjestiti u prijevozno sredstvo, skladište ili neku drugu logističku jedinicu. Operativni kapacitet označava maksimalnu količinu rada ili outputa koju određena operacija može ostvariti unutar zadanog vremenskog okvira, pri čemu svaka operacija ima svoja specifična ograničenja, poput kapaciteta proizvodnje u tvornici, broja studenata na fakultetu ili broja putnika u zrakoplovu.

Za razliku od operativnog kapaciteta, kapacitet opskrbnog lanca odnosi se na maksimalnu količinu robe koja može biti isporučena kupcu u određenom vremenskom razdoblju. Postoji nekoliko vrsta kapaciteta koje je potrebno razmotriti:

- **Dizajnirani kapacitet:** Najveća moguća propusnost koja se može postići u idealnim uvjetima.
- **Efektivni kapacitet:** Realna maksimalna propusnost koja se može postići u normalnim, svakodnevnim uvjetima.
- **Stvarna propusnost:** Obično nešto niža od efektivnog kapaciteta zbog raznih faktora koji ometaju optimalno funkcioniranje.

Većina tvrtki nastoji dosegnuti dizajnirani kapacitet, odnosno raditi u idealnim uvjetima bez zastoja ili neučinkovitosti. Međutim, u praksi, nijedan sustav ne može raditi na maksimalnom kapacitetu kroz dulje razdoblje zbog promjenjive potražnje, fluktuacija u opskrbi i drugih vanjskih faktora.

Logistički procesi poput transporta, sortiranja, skladištenja, pakiranja, označavanja, dostave i obrade narudžbi ključni su za održavanje visoke produktivnosti. Ako bilo koji segment ovih procesa ne funkcionira optimalno, to može izazvati domino efekt na cijeli proizvodni proces, što rezultira višim troškovima, smanjenom pouzdanošću i potencijalnim gubitkom kupaca. Upravo zato, kontinuirano unaprjeđenje logističkih procesa od iznimne je važnosti za održavanje konkurentnosti i stabilnosti poslovanja.[2]

### 2.2.2 Pokazatelji uspješnosti

Praćenje i kontrola od velike su važnosti kada je riječ o uspješnosti poslovanja logističkog lanca. Praćenje i kontrola uvelike utječu na poboljšanje učinkovitosti i smanjenje troškova, jer omogućuju praćenje izvedbe i prilagodbu procesa u stvarnom vremenu. Ključni pokazatelji uspješnosti (KPI) imaju glavnu ulogu u procesu jer obuhvaćaju kako kvantitativne, tako i kvalitativne mjere koje omogućuju optimizaciju logističkih operacija i strategija.

Prvi korak u učinkovitoj optimizaciji mjerenja i praćenja logističkih performansi jest postavljanje jasnih ciljeva. Ovaj korak uključuje definiranje specifičnih ciljeva koji se žele postići i razumijevanje potreba za mjerenjem i praćenjem performansi. Jasno definirani ciljevi postavljaju smjernice za sve daljnje aktivnosti i pomažu u usmjeravanju fokusa na ključne aspekte logističkih procesa.

Sljedeći korak obuhvaća analizu i dekompoziciju logističkih sustava i procesa. Ova faza je ključna za razumijevanje kako različiti elementi sustava doprinose ukupnom ishodu. Dekompozicija pomaže u otkrivanju i prepoznavanju pojedinačnih dijelova sustava koji mogu utjecati na konačne rezultate performansi. Greške u ovoj fazi mogu značajno utjecati na učinkovitost mjerenja i analiza.

Nakon analize, potrebno je definirati performanse za različite logističke lance i procese. U navedenom se koraku često koriste povijesni podaci kao osnova za razvoj pokazatelja uspješnosti. Na temelju analiza prošlih operacija moguće je stvoriti smjernice za daljnje praćenje i evaluaciju. Definiranje performansi omogućava precizno usmjeravanje na ključne točke koje treba pratiti.

Nadalje se odabiru specifični pokazatelji za praćenje uspješnosti. Ovi pokazatelji moraju biti adekvatno odabrani za logističke procese i trebaju omogućiti prikupljanje korisnih podataka za analizu. Simulacija aktivnosti uz upotrebu ovih pokazatelja može pomoći u provjeri njihove funkcionalnosti i utjecaja na cjelokupni logistički tok.

Na samom se kraju odabiru osnovni pokazatelji uspješnosti koji imaju direktan utjecaj na logističke procese i koji su ključni za optimizaciju cjelokupnog logističkog sustava. Selekcija odabranih pokazatelja stavlja fokus na najvažnije parametre i poboljšanje ukupne učinkovitosti poslovanja. Uvođenjem ovih koraka, organizacije mogu osigurati da njihovi logistički procesi budu optimalni, prilagodljivi i spremni za suočavanje s promjenama na tržištu. [2]

### **3. Specifičnosti organizacije robotiziranih logističkih sustava**

Organizacija robotiziranih logističkih sustava donosi specifične izazove i prilike koje se razlikuju od tradicionalnih logističkih operacija. Ključna prednost robotizacije leži u mogućnosti automatizacije rutinskih i repetitivnih zadataka, što značajno povećava učinkovitost i smanjuje operativne troškove. Međutim, implementacija takvih sustava zahtijeva pažljivo planiranje i integraciju. Prvo, potrebno je osigurati odgovarajuću infrastrukturu koja može podržati rad robota, uključujući prilagođene skladišne prostore, napredne softverske sustave za upravljanje i stabilne mrežne veze za komunikaciju između robota. Drugo, organizacija rada mora biti fleksibilna kako bi se omogućila neometana suradnja između ljudi i robota. Ovo uključuje dizajniranje radnih procesa koji optimiziraju ljudsko-robotsku interakciju, gdje roboti preuzimaju zadatke poput preuzimanja i premještanja robe, dok radnici nadgledaju, upravljaju i rješavaju složenije situacije. Nadalje, sustavi moraju biti prilagođeni za brzo prilagođavanje promjenama u opterećenju i potražnji. To podrazumijeva korištenje naprednih algoritama za optimizaciju rute, upravljanje zalihama i predviđanje potreba. Konačno, sigurnosni protokoli su ključni za osiguranje sigurne operacije robota unutar skladišta i distribucijskih centara, uključujući sustave za izbjegavanje sudara i zaštitu radnika. Uz sve ove elemente, organizacija robotiziranih logističkih sustava može značajno unaprijediti učinkovitost, smanjiti troškove i povećati točnost isporuka, što je ključno za uspjeh u modernoj logistici. Prema podacima Međunarodne federacije robotike (IFR), globalna logistička industrija, koja čini osnovu međunarodne trgovine i čini oko 10 posto svjetskog BDP-a, suočava se s rapidnim porastom potražnje. Iako su tvrtke već značajno ulagale u robotiku i automatizaciju, pri čemu su prodaje profesionalnih robotskih sustava za prijevoz dobara ili tereta porasle za 44% u odnosu na prethodnu godinu (2021-2022), ozbiljan nedostatak radne snage prijeto da omete budući rast u logističkoj industriji širom svijeta. IFR tvrdi da nova generacija robota opremljenih umjetnom inteligencijom pomaže u suočavanju s tim izazovima. U kategoriji profesionalnih primjena, sektor transporta i logistike bio je najaktivnija aplikacija, s prodajom koja je porasla za 44% na više od 86.000 mobilnih robotskih rješenja prodanih 2022. godine za prijevoz dobara ili tereta. [3]

#### **3.1 Povijest robotiziranih logističkih sustava**

Razvojem tehnologije umjetne inteligencije pojavili su se novi tipovi industrijskih robota koji dopunjuju i izazivaju ograničene sposobnosti standardnih industrijskih robota, koji su često rigidni i nefleksibilni. Inteligentni kolaborativni roboti, ili "coboti", zauzimaju tržište fleksibilne proizvodnje. Koncept "cobota" prvotno je razvijen u General Motorsu još 1994. godine, a doslovno je izumljen 1996. godine od strane J. Edwarda Colgatea i Michaela Peshkina te definiran kao "uređaj i metoda za izravnu fizičku interakciju između osobe i manipulatora opće namjene koji je

kontroliran računalom" u američkom patentu. Danas su proizvodne linije agilne, s pojavom raznih prilagođenih usluga koje se moraju pravovremeno prilagoditi brzo mijenjajućem tržištu. Standardni tradicionalni roboti su skupi i manje svestrani u takvim scenarijima te često nisu dostupni, posebno za mala i srednja poduzeća koja najčešće trebaju robote koji su relativno jeftini, jednostavni za korištenje, agilni i brzo primjenjivi. Inteligentni kolaborativni roboti koji ulaze na tržište mogu se intuitivno naučiti od strane operatera i mogu se brzo implementirati bez specifičnog robotskog znanja. Opseg primjena cobota je širok, od automobilske do elektronike industrije, od obrade metala do pakiranja i automatizacije plastike. Logistički roboti su dugo bili izvan domene industrijskih robota, ali su postali ključni u složenim i dinamičnim sustavima međunarodne trgovine. Uspješna primjena logističkih robota, kao što su autonomni roboti za odabir i postavljanje u skladištima Amazona i DHL-a, značajno je povećala učinkovitost u odabiru narudžbi i drugim skladišnim zadacima. Čak i u velikim skladištima s dinamičkim okruženjima, radni tokovi se mogu brzo postaviti i modificirati uz pomoć inteligentnih autonomnih logističkih robota i robotskih podataka u oblaku. Međunarodne e-trgovine i logističke tvrtke koje posjeduju skladišta diverzificirale su se u robotiku kupnjom kompanija za logističke robote, čime su roboti postali izvor konkurentске prednosti u logistici. Optimizacija upotrebe logističkih robota, uključujući koordiniranu autonomiju, poboljšava produktivnost robotskih sustava. Upravljanje flotom robota povezano je s cjelokupnim upravljanjem skladištem i predviđanjem potražnje temeljenim na algoritmima strojnog učenja. Napredni višemodalni sustavi omogućuju početak odabira narudžbi u stvarnom svijetu čak i prije nego što kupac završi s izborom u virtualnoj trgovini. [4]

### **3.2 Robotizacija u skladišnim sustavima**

Prema trenutnim istraživanjima, postoje tri glavne skupine robota koji se koriste u skladištima u funkciji premještanja robe. To su automatizirana vođena vozila (Automated Guided Vehicles), autonomni mobilni roboti (Autonomous Mobile Robots) i automatizirani skladišni viljuškari RLT (Robotic Lift Truck). Tehnološkim napretkom u funkcionalnosti i modernizaciji, tvrtke su počele koristiti robote u skladištima za razne operacije, uključujući utovar, istovar, proces depaletizacije, premještanje robe, pakiranje, sortiranje, inventuru zaliha itd. Specijalizirana analitička agencija, Interact Analysis, u svom je izvješću o budućnosti automatizacije skladišta ("The Future of Warehouse Automation - 2019"), istaknula uvođenje mobilnih robota u cilju zamjene tradicionalnih sustava transportera. Roboti se već prisutni i iskorišteni u radu kod mnogih stranih proizvođača za obavljanje jednostavnih zadataka poput čišćenja poda, izdavanja narudžbi, provjere i praćenja lokacije robe na policama itd. S gledišta digitalnog napretka poslovanja, autonomni mobilni roboti u skladištima omogućuju autonomno prikupljanje podataka o kretanju materijala i robe te prikupljanju podataka o korištenju zaliha unutar skladišnih operacija. Nadalje, integracija robota sa sustavima na operativnoj razini, kao što su primjerice WMS (Warehouse Management System) i WES (Warehouse Execution System), omogućit će uskladu fizičkog izvođenja zadataka s digitalnom kopijom operacije u sustavima Digital Twins. [5]

### 3.2.1 Automatizirana vođena vozila

Automatizirana vođena vozila koriste se za obradu i prijevoz robe i materijala unutar tvorničkog okruženja, najčešće skladišta. Prilikom vožnje koriste metode vođenja i kontrole za navigaciju. Njihov oblik, veličina i način rada ovise o njihovoj upotrebi unutar tvornice. Sustavi automatiziranih vođenih vozila omogućuju fleksibilno usmjeravanje i otpremu materijala, što ih čini pogodnima i prilagodljivima za varijabilna proizvodna okruženja gdje se mješavina proizvoda i prioriteta stalno mijenjaju. Od njihovog uvođenja 1950-ih, korištenje istih značajno je poraslo, kao i broj primjena i tipova ovih sustava. Posljednjih deset godina zabilježen je značajan napredak u metodama upravljanja autonomnim multi-robotskim sustavima, a mnogi koncepti iz tog područja primijenjeni su i na upravljanje AGVS-om. Sposobnost slobodne navigacije postaje sve važnija, osobito u vanjskim AGVS primjenama. Slike 5 i 6 prikazuju primjer autonomnog vođenog vozila koji dostavlja dijelove između različitih montažnih stanica prateći posebne električne vodiče instalirane u podu ili koristeći laserske senzore za lokalizaciju unutar unaprijed određene mape. Evaluacija metoda upravljanja vozilom najčešće se provodi putem simulacija, pri čemu se performanse sustava mjere kroz parametre koji predstavljaju rad vozila i cijelog proizvodnog sustava. Ključni pokazatelji za evaluaciju uključuju:

- Proizvodni učinak (throughput)
- Proizvodno vrijeme (MLT)
- Prosječno vrijeme čekanja dijelova
- Duljinu izlaznog reda
- Rad u tijeku (WIP)
- Broj situacija blokade (deadlock)
- Kašnjenje u proizvodnji (tardiness)

Mjere koje se odnose na rad automatiziranih vođenih vozila uključuju:

- Vrijeme mirovanja vozila
- Iskorištenost vozila
- Vrijeme praznog putovanja vozila
- Broj vozila potrebnih za ispunjavanje proizvodnih zahtjeva.

Radi se o pametnim uređajima koji koriste ugrađenu obradu podataka za decentralizirano donošenje odluka, poput planiranja putanje i izbjegavanja sudara. Otkriveno je da planiranje putanje zahtijeva veliku računalnu snagu u slučaju kada je više vozila istovremeno u pogonu. U tom slučaju, ova operacija može zahtijevati prebacivanje na snažniji centralni procesor.

U cilju neometane lokalizacije i usmjeravanja vozila, potrebno je postaviti odgovarajuću opremu u tvornici, što je vremenski zahtjevno i skupo, a neefikasnosti se mogu pojaviti zbog toga što roboti ne razumiju dinamično okruženje.

Tehnologija navođenja vozila može se podijeliti na dvije glavne grupe: metode fiksne i slobodne rute. Metode fiksne rute oslanjaju se na unaprijed postavljenu putanju koju robot prati, poput magnetske ili optičke trake. Ove metode su precizne, ali nisu fleksibilne i zahtijevaju visoke troškove održavanja kod promjena rute. Drugi način su metode slobodne rute koriste koordinate, kao što su GPS ili vizualno navođenje, što omogućuje veću fleksibilnost i jednostavno prilagođavanje ruta, ali su skuplje, manje pouzdane i precizne.

U tvornicama koje koriste više automatiziranih vođenih vozila, upravljanje flotom može se provoditi kroz različite modele. Model dizajna protoka putanje povećava fleksibilnost, ali povećava rizik od sudara.

Automatizirana vođena vozila predstavljaju budućnost proizvodnih sustava, ali još uvijek nedostaje učinkovit način njihove implementacije u kontekstu industrije. Postoje tri vrste proizvodnih sustava ovakvih vozila, a to su:

- **Posvećeni proizvodni sustav (DMS):** Sustav dizajniran za proizvodnju specifičnog proizvoda ili grupe proizvoda, s visokim kapacitetom. Međutim, njegov kapacitet je fiksni i ne može se prilagoditi promjenjivim zahtjevima kupaca.
- **Fleksibilni proizvodni sustav (FMS):** Sustav koji je funkcionalno fleksibilan, ali je razina te fleksibilnosti unaprijed definirana. Veće prilagodbe zahtijevaju značajna financijska i vremenska ulaganja.
- **Rekonfigurabilni proizvodni sustav (RMS):** Glavna značajka RMS-a je da se sastoji od relativno jeftine proizvodne linije ili opreme koja može biti postavljena za proizvodnju određenog proizvoda, slično DMS-u, ali se kasnije može rekonfigurirati, u relativno kratkom vremenskom periodu, za proizvodnju drugog proizvoda.

Automatizirana vođena vozila čine veliki i značajan dio logističkih transportnih sustava u današnjoj industriji. Već više od desetljeća koriste se u velikoj mjeri, osobito u Europi. Trenutni aktualni sustavi automatiziranih vozila i sustavi koje nude globalni proizvođači gotovo svi djeluju pod nekom vrstom centralizirane kontrole: jedan centralni kontroler upravlja cijelom flotom vozila. Zahvaljujući brojnim istraživanjima, primijećen je trend prema decentraliziranim sustavima u kojima ovakva vozila donose individualne odluke, što pridonosi fleksibilnosti, robusnosti i skalabilnosti transporta. [6]





Slika 5. Primjer automatiziranog vođenog vozila, [7]

### 3.2.2 Autonomni mobilni roboti

Autonomni mobilni roboti robotski su sustavi koji imaju mogućnost samostalnog kretanja i navigacije kroz različita okruženja bez potrebe za stalnom ljudskom kontrolom. Na slici 6 u nastavku prikazan je primjer autonomnog mobilnog robota. Opremljeni su naprednim sensorima za percipiranje okoline, sustavima za lokalizaciju i mapiranje te algoritmima za planiranje puta i donošenje odluka. Korištenjem tehnologija poput simultane lokalizacije i mapiranja (SLAM), umjetne inteligencije i strojnog učenja, autonomni mobilni roboti mogu prepoznati i analizirati svoje okruženje, izbjegavati prepreke, prilagođavati se promjenjivim uvjetima te izvršavati specifične zadatke kao što su prijevoz, inspekcija ili interakcija s korisnicima. Ova sposobnost autonomije omogućuje im visoku učinkovitost i fleksibilnost u raznim primjenama, uključujući logistiku, proizvodnju, zdravstvenu skrb, istraživanje i spašavanje te usluge u javnim prostorima.

Područje mobilne robotike bilježi izvanredan napredak, čime se otvara put autonomnim sustavima koji mogu usmjeravati u složenim okruženjima bez potrebe za ljudskom kontrolom

i intervencijom. Mijenjajući industrije kroz pojednostavljene logističkih procesa, poboljšanje sigurnosti i optimizaciju operativne učinkovitosti, autonomni mobilni roboti pokreću novu revoluciju. Ovi napredni roboti koriste najsuvremenije tehnologije poput simultane lokalizacije i mapiranja (SLAM), sustava kontrole, numeričkih metoda i obrade signala kako bi se samostalno kretali i izvršavali zadatke. Od bespilotnih vozila u logistici do robotskih asistenata u zdravstvu, primjene mobilne robotike su raznolike i brzo se razvijaju, obećavajući preoblikovanje našeg pristupa automatizaciji i autonomiji.

Autonomni mobilni roboti predstavljaju značajan iskorak u odnosu na tradicionalna automatizirana vođena vozila. Dok se tradicionalna vozila oslanjaju na unaprijed definirane staze ili putanje, autonomni mobilni roboti koriste senzore, umjetnu inteligenciju, strojno učenje i napredne metode mapiranja i navigacije kako bi dinamički tumačili i prilagođavali se svom okruženju. Ovi roboti su evoluirali iz svojih prethodnika, pri čemu su napredak u umjetnoj inteligenciji, strojnom učenju i računalnoj snazi omogućili njihovu autonomnu navigaciju u složenim okruženjima. Ključne komponente autonomnih mobilnih robota uključuju:

- Senzore (npr. lidar, kamere) za percepciju okoline
- Softver za obradu podataka sa senzora i kontrolu robota
- Aktuatore za fizičko kretanje robota

Brzi rast autonomnih mobilnih robota prvenstveno je potaknut napretkom u tehnologijama poput računalne snage, senzora, vizualizacije i analitike, koje omogućuju povezivanje robota s okolinom u stvarnom vremenu.

Neke od specifikacija rada autonomnih mobilnih robota su:

1. Simultana lokalizacija i mapiranje (SLAM). Kako bi razumjeli i prilagodili se promjenama u svojoj okolini, omogućujući fleksibilnost u raznim primjenama.
2. Napredno mapiranje. Kako bi stvorili detaljne karte svog okruženja i planirali učinkovite rute.
3. Strojno učenje. Kako bi postigli optimalnu učinkovitost i preciznost, čak i u novim situacijama.

Sa sposobnostima samostalnog upravljanja i razmišljanja, autonomni mobilni roboti (AMR) nude veću neovisnost i fleksibilnost u usporedbi s tradicionalnim automatiziranim vođenim vozilima

(AGV). Mogu biti opremljeni sigurnim skladišnim pretincima i koristiti napredne tehnologije poput LiDAR-a, vizualnog računalstva i mapiranja za navigaciju. Integracija autonomnih mobilnih robota nudi brojne prednosti koje pojednostavljaju operacije, povećavaju produktivnost i poboljšavaju sigurnost u raznim industrijama. U nastavku su navedene značajne prednosti usvajanja tehnologije autonomnih mobilnih robota. Povećani kapacitet skladištenja i učinkovitost: optimizirajući iskorištavanje prostora te omogućujući kompaktnije i organiziranije skladištenje, autonomni mobilni roboti mogu koristiti vertikalna skladišna rješenja poput VLM-ova (Modulovih vertikalnih lift modula). To rezultira povećanim kapacitetom skladištenja i smanjenjem nereda u objektima. Sigurnost zaposlenika i automatizacija zadataka: Autonomni mobilni roboti mogu preuzeti opasne ili fizički zahtjevne zadatke, što bi smanjilo rizike za ljudske radnike. Osim toga, automatiziraju rutinske i repetitivne operacije u cilju omogućavanja zaposlenicima da se fokusiraju na vrijednije i složenije zadatke. Povećanje produktivnosti i smanjenje grešaka: Podrškom zaposlenicima u zadacima kao što su odabir, lociranje i premještanje inventara, autonomni mobilni roboti povećavaju ukupnu učinkovitost i produktivnost. Njihova preciznost i softver vođen umjetnom inteligencijom smanjuju pogreške, što u konačnici smanjuje šanse za nezgode i povrat narudžbi.

Fleksibilnost i prilagodljivost:

- Autonomni mobilni roboti ne zahtijevaju vodilice te se mogu samostalno kretati, prilagođavajući se promjenama u opremi i materijalima unutar objekta.
- Mogu raditi u nestrukturiranim okruženjima, brzo se prilagođavajući novim rutama, skladištima i radnim tokovima bez potrebe za stručnjacima za robotiku.
- Mogu zaobići prepreke, osiguravajući neprekidan rad i minimaliziranje zastoja.

Skalabilnost i isplativost:

- Autonomni mobilni roboti vrlo su prilagodljivi, što omogućuje tvrtkama jednostavno dodavanje dodatnih robota po potrebi.
- Iako početno investiranje u robote može biti visoko, dugoročno je isplativo jer rezultira smanjenjem troškova rada i indirektnih operativnih troškova.
- Zahtijevaju manje održavanja od tradicionalnih sustava i mogu pomoći u izbjegavanju skupih ljudskih pogrešaka.

Odluke temeljene na podacima: Autonomni mobilni roboti mogu poboljšati prikupljanje podataka, pružajući tvrtkama vrijedne uvide za donošenje informiranih, podatkovno utemeljenih odluka radi daljnje optimizacije operacija. Dugoročna održivost i rast: Smanjenjem ljudskih pogrešaka, poboljšanjem skalabilnosti i prilagođavanjem promjenjivim poslovnim potrebama, autonomni mobilni roboti podržavaju dugoročnu održivost i rast organizacija u raznim sektorima. Autonomni mobilni roboti našli su primjenu u širokom spektru industrija, uključujući proizvodnju, skladištenje, logistiku, zdravstvo, maloprodaju, bankarstvo, ugostiteljstvo, pametne gradove, javni

sektor i poljoprivredu. Njihova svestranost proteže se i izvan industrijskih razmjera, gdje su autonomni mobilni roboti iskorišteni za pružanje informacija kupcima, dostavljanje usluge u hotelskim sobama i podržavanjem provedbe zakona patroliranjem gradskim područjima. U sektorima proizvodnje i logistike, autonomni mobilni roboti izvrsni su u transportu robe kroz velika skladišna područja učinkovitije nego ljudski radnici. Mogu učinkovito obavljati monotone zadatke poput paletizacije koristeći značajke poput podiznih ploča i robotskih ruku. Dodatno, autonomni mobilni roboti koriste se za dostavu zaliha, dezinfekciju i navigaciju pacijenata u medicinskim ustanovama, kao i za siguran transport podataka i uzoraka u podatkovnim centrima i istraživačkim objektima koristeći zaključive kutije ili ormariće. Autonomni mobilni roboti također nalaze primjenu u raznim industrijama, uključujući proizvodnju, skladištenje, logistiku, zdravstvo, maloprodaju, bankarstvo, ugostiteljstvo, pametne gradove, javni sektor i poljoprivredu. Osim iskorištenosti u industriji, koriste se i za pružanje informacija kupcima, dostavu sobne usluge u hotelima te za podršku policijskim snagama u nadzoru gradskih područja. U skladištima i distribucijskim centrima autonomni mobilni roboti izvode zadatke poput učitavanja, istovara, transporta, slaganja i dohvaćanja paletiziranih i drugih velikih tereta, gdje su u prednosti u odnosu na automatizirana vođena vozila u zadacima poput prikupljanja narudžbi i sortiranja, što može činiti značajan dio operativnih troškova. Roboti također automatiziraju prikupljanje narudžbi koristeći pristupe kao što su "goods-to-person," zone picking i fleksibilno sortiranje. U područjima čišćenja i dezinfekcije, ovi roboti mogu biti opremljeni sredstvima za ribanje podova, raspršivačima dezinfekcijskih sredstava i UV svjetiljkama, omogućujući automatsko čišćenje i dezinfekciju, što je bilo posebno važno tijekom pandemije COVID-19. Na području sigurnosti i nadzora, autonomni sigurnosni roboti mogu patrolirati objektima, pružati stalni video nadzor i reagirati na događaje koristeći autonomnu navigaciju i umjetnu inteligenciju. U maloprodaji, roboti detektiraju prolivena/oštećena sredstva, dohvaćaju artikle za online narudžbe te skeniraju police za upravljanje zalihama u trgovinama. Autonomni mobilni roboti također su prisutni i u dostavi gdje se manifestiraju kroz robote za dostavu na pločnicima i dronove te smanjuju troškove dostave do zadnjeg kilometra. [8]



Slika 6. Husky robot opremljen s Lidar sensorom i Hikvision kamerom, [8]

### 3.2.3 Automatizirani robotski viljuškari

U većini se industrija koriste viljuškari s ručnim upravljanjem za premještanje komponenti. Proces utovara i istovara odvija se potpuno ručno, što povećava troškove i vrijeme rada. U daljnjem su tekstu predloženi automatski viljuškari opremljeni sensorima koji bi bili rješenje za smanjenje troškova. Dok pristup temeljen na laserskom skeneru ne omogućuje postavljanje reflektora u svim radnim područjima, viljuškari s sensorima boje smanjuju složenost skeniranja paleta. Za razliku od sustava koji koriste kamere za identifikaciju promjenjivih paleta, viljuškari sa sensorima boje ne ovise o promjenama u osvjetljenju, što može varirati u industrijskim okruženjima. Nadalje, opisano je proces utovara i istovara paleta različitih dimenzija korištenjem senzora boje i primjene tehnike praćenja linija za automatsko upravljanje viljuškarom. Tehnika praćenja linija pojednostavljuje algoritme za mapiranje puta, tako da robot s nizom IR senzora može učinkovito pratiti određenu liniju. Identificiranjem boje paleta pomoću senzora, viljuškar može lako prepoznati i obaviti utovar i istovar paleta. Tri glavne funkcije koje automatski viljuškari trebaju obavljati su: prijevoz, identifikacija potrebnih paleta i detekcija prepreka. Za prepoznavanje boje različitih paleta korišten

je TCS230 programabilni konvertor svjetlosti u frekvenciju, koji je postavljen na dizalne šipke viljuškara. Tehnika praćenja linije služi za usmjeravanje puta uz pomoć IR senzora. Dva para IR senzora postavljena su ispred viljuškara i usmjerena su prema definiranoj stazi radi detekcije puta. PIR senzor moduli korišteni su za detekciju prepreka, kako bi se izbjeglo sudaranje viljuškara s preprekama. Put između dva potrebna odjeljka može biti bilo kojeg oblika IR staze, poput ravne linije, krivulje, elipse itd. Boja linije treba biti crna ili bijela. Slika 8 prikazuje raspored viljuškara sa svim njegovim dijelovima. Kod automatskog viljuškara, kretanje dizalice može se postići pomoću električnih ili hidrauličnih aktuatora. Za vođenje šipke viljuškara povezana je s dva vodilna štapa. Dva viljuškarska kraka su pričvršćena na ovu šipku. Na krajevima krakova postavljen je senzor boje za prepoznavanje boje paleta koje treba obraditi. U stvarnim viljuškarima, transport vozila ostvaruje se pomoću motora. U ovom izrađenom modelu, transport između dva odjeljka omogućavaju dva trajna magnetna DC motora. Ovi motori su povezani s prednjim kotačima viljuškara. [9]



Slika 7. Automatizirani robotski viljuškar, [9]

Funkcionalna blok shema izrađenih automatskih viljuškara prikazuje sljedeći radni tok. Senzor boje identificira potrebnu paletu među raznim paletama. Viljuškom se podiže i premješta na željenu lokaciju koristeći IR senzore i tehniku praćenja linije. Paleta se zatim smješta na predviđeno mjesto. Ukoliko se tijekom procesa nađe prepreka, robot će se automatski zaustaviti.

Na ploči s elektroničkim komponentama koristi se regulator napona (7805) za regulaciju ulaznog napona. Za dvostruko rotiranje koristi se H-Bridge sklop izrađen od dva +12V DC releja. Kontrolna jedinica je AT89C52, uz 33pF kondenzatore i 12MHz kristalni oscilator za generiranje satnog pulsa. Izlazni pinovi mikrokontrolera povezani su s motorima putem H-Bridge sklopa. Kako bi se pojačao izlazni napon, između releja i mikrokontrolera spojen je MOSFET (IRFZ44N). Dva H-Bridge sklopa koriste se za transport između lokacija, dok jedan služi za podizanje viljuškara. Programiranje mikrokontrolera provedeno je koristeći Keil-C softverski paket. Kontrolna jedinica provjerava je li digitalni izlaz iz senzora boje jednak traženom izlazu u bazi podataka. U slučaju da se podaci poklapaju, paleta se prihvaća za utovar ili istovar, dok se u suprotnom odbacuje. Prethodno objašnjeno navedeno je u dijagramu toka za identifikaciju paleta.

Algoritmi za identifikaciju paleta temelje se na sljedećem:

1. Pomičite se do lokacije palete i aktivirajte bijelu svjetlost na paleti.
2. Uperite reflektiranu svjetlost na fotodiodni niz.
3. Pretvorite incidentnu svjetlost u signal struje temeljen na valnoj duljini svjetlosti.
4. Pretvorite signal struje u frekvenciju.
5. Pretvorite izlazni signal u digitalni signal.
6. Usporedite digitalni signal s podacima u kontrolnoj jedinici.
7. Ako nema pogrešaka, aktivirajte proces viljuškara.
8. Ako postoji pogreška, premjestite se na sljedeću paletu i ponovite postupak od koraka 1.

Za detekciju prepreka korišten je ultrazvučni senzor, budući da IR senzor ne može detektirati crne prepreke, jer crna površina apsorbira IR zrake. Ultrazvučni senzori generiraju visoke frekvencije zvučne valove i analiziraju odjeke kako bi odredili udaljenost do objekta. Raspon može biti od 3 cm do nekoliko metara, a u ovom modelu viljuškara postavljen je radni raspon od 15 cm. Ako se vrijeme prijema signala razlikuje od postavljenog vremena, viljuškar će se automatski zaustaviti.

[9]

### 3.3 Robotizacija u sustavima dostave

Brzi rast e-trgovine, koja se odlikuje malim veličinama paketa, velikim volumenom i različitim frekvencijama, predstavlja ozbiljne izazove za pružatelje logističkih usluga (Ghajargar et al., 2016). U 2020. godini, e-trgovina je rasla od dva do pet puta brže u većini zemalja, uključujući SAD, Kinu, Veliku Britaniju, Španiju, Njemačku, Indiju, Francusku i Japan (Lund et al., 2021). Posebno su značajan rast zabilježili tržišta dostave hrane, namirnica i lijekova. Na primjer, globalno tržište dostave hrane je utrostručeno u posljednjih pet godina i trenutno vrijedi 150 milijardi dolara, dok je samo američko tržište udvostručeno u posljednje dvije godine (Ahuja et al., 2021). S obzirom na to da dostave hrane, lijekova i namirnica sve više zahtijevaju instant i uslugu na zahtjev, ogroman rast u ovim sektorima pogoršao je logističke izazove (Allen et al., 2018). Ključni izazovi s kojima se dostavne usluge suočavaju uključuju povećanu potražnju i očekivanja kupaca, visoke troškove, akutni nedostatak radne snage i probleme s održivošću (Boysen et al., 2020). Nedostatak dostavnih radnika prisilio je velike e-trgovinske tvrtke poput Amazona, Flipkarta i Grofersa da udvostruče plaće kako bi privukli i zadržali zaposlenike (Venugopalan, 2021). Osim toga, rast stanovništva i urbanizacija pogoršali su postojeće probleme dostave u congestiranim i zagađenim gradovima. Predviđa se da će 25 najgušće naseljenih američkih gradova u sljedećih deset godina izgubiti više od 480 milijardi dolara zbog povećane potrošnje goriva, gubitka vremena i emisije ugljičnog dioksida (Pishue, 2017). Stoga su novi, inovativni, učinkoviti i automatizirani načini dostave neophodni za rješavanje povećanih volumena dostava, rastućih očekivanja kupaca i drugih konvencionalnih izazova dostave. [10]

Autonomna vozila za dostavu mogu biti samovozeći automobili, dostavni roboti, dronovi ili druge autonomne platforme. Opremljeni su sensorima, kamerama i navigacijskim sustavima koji im omogućuju rad bez ljudske intervencije, iako često trebaju nadzor (na daljinu) kako bi se pridržavali lokalnih i nacionalnih propisa. Također moraju ispunjavati zakonske standarde za sigurnost i ispravnost. LiDAR (sustav za detekciju i mjerenje udaljenosti), GPS i napredni sustavi kamera ključni su za navigaciju i prepoznavanje objekata. Ovi senzori pružaju podatke u stvarnom vremenu za donošenje odluka i optimizaciju ruta. Za transport i osiguranje paketa, autonomna vozila mogu imati značajke poput temperaturno kontroliranih odjeljaka za hranu ili zaključanih prostora za zaštitu od neovlaštenog pristupa. Jedan primjer rada autonomnih vozila je samostalno preuzimanje paketa, pri čemu korisnik sam uzima robu s dostavnog robota nakon dolaska na dogovoreno mjesto dostave. Ovaj proces uključuje interakciju s kupcima, kao što su obavijesti o statusu dostave, procjene vremena dostave i opcije za sigurno preuzimanje paketa, poput PIN koda za pristup odjeljku vozila. Vozila su opremljena višestrukim sigurnosnim sustavima kako bi se izbjegle nesreće i odgovorilo na neočekivane situacije, poput pješaka na putu. Tehnologija izbjegavanja sudara, automatsko kočenje i detekcija prepreka omogućuju im navigaciju u prometnim urbanim sredinama uz prioritet sigurnosti drugih sudionika u prometu. U nastavku poglavlja opisane su dvije vrste robota za dostavu. [10]



### 3.3.1 Autonomne bespilotne letjelice (dronovi)

Dronovi, poznati i kao bespilotne letjelice (UAV), su uređaji koji se autonomno ili daljinski upravljaju, bez potrebe za prisustvom pilota. Oni su postali ključna inovacija u modernoj tehnologiji, s primjenama koje obuhvaćaju sve od vojne upotrebe do snimanja iz zraka i, sve više, do logistike. U kontekstu dostave, dronovi nude potencijal za drastično smanjenje troškova dostave, posebice u "last-mile" fazi, gdje je potrebno dostaviti pošiljke iz distribucijskog centra do krajnjeg korisnika. "Last-mile" dostava, koja je završna faza u logističkom procesu, predstavlja često najskuplji i najsloženiji dio distribucije zbog potrebe za pojedinačnim dostavama na različite lokacije. Ova faza podrazumijeva distribuciju više pošiljki iz zajedničke točke, poznate kao "break-bulk" točka, prema njihovim krajnjim destinacijama. Nakon što se velike pošiljke do te točke transportiraju zajedno, one se razdvajaju i planiraju se specifične rute za svaku pošiljku. Glavni troškovi u ovoj fazi su broj zaustavljanja po ruti (stop faktor), broj pošiljki po zaustavljanju (drop faktor), te neuspjele ili ponovljene dostave. Na primjer, u poslovnim dostavama (B2B) često postoji veći broj pošiljki po jednom zaustavljanju, dok je kod privatnih dostava taj broj obično manji, što povećava troškove. Neuspjele dostave dodatno opterećuju troškove jer često zahtijevaju ponovnu dostavu ili preusmjerenje pošiljki na druge lokacije. Uz sve veće zagađenje i prometne gužve u urbanim sredinama, sektor CEP (kurirske, ekspresne i paketne usluge) često se suočava s optužbama za dodatno pogoršanje ovih problema, iako stvarni doprinos ovog sektora još nije u potpunosti istražen. Uvođenje inovativnih rješenja, poput autonomnih dostavnih robota i dronova, moglo bi pomoći u rješavanju ovih problema. Ova rješenja obećavaju smanjenje troškova i emisija, poboljšanje planiranja ruta, te povećanje efikasnosti kroz automatizaciju procesa dostave. Na primjer, dronovi mogu omogućiti dostavu izvan radnog vremena kada su primatelji kod kuće, smanjujući time broj neuspjelih dostava i ukupne operativne troškove. [11]

Dronovi donose brojne prednosti u usporedbi s tradicionalnom dostavom, uključujući bržu isporuku, niže troškove i manji utjecaj na okoliš te poboljšavaju operativne performanse pomorskog i cestovnog prijevoza. Međutim, uz ove prednosti, dronovi također donose određene rizike za korisnike. Kupci cijene fleksibilnost, sigurnost i brzinu koju pružaju dronovi, ali su istovremeno zabrinuti zbog mogućih kvarova dronova i invazije na privatnost prilikom preleta iznad njihovih nekretnina.

Amazon je pionir u primjeni dronova za dostavu, nastojeći revolucionirati način na koji paketi stižu do kupaca. Tvrtka je razvila i patentirala niz inovacija u ovom području, uključujući sustave za vertikalno podizanje dronova s fiksnim krilima, modularne dronove prilagođene za različite misije te postaje za punjenje dronova na visoko postavljenim strukturama. Amazon istražuje i mogućnosti kao što su visoki zračni centri za ispunjavanje unutar gradova i dronovi koji mogu slijetati na pokretne vozila kako bi optimizirali isporuku. Kroz ove napore, Amazon nastoji poboljšati brzinu, učinkovitost i troškovnu isplativost svojih dostavnih usluga. Mnogi patenti koje je Amazon dobio za svoj sustav dostave dronovima opisuju specifične elemente, dok neki pružaju pregled cijelog sustava. Patent iz 2013. opisuje kako bi dronovi koristili podatke o lokaciji s pametnih telefona kupaca za dostavu direktno na željene lokacije poput doma, radnog mjesta ili

čamca. Dronovi bi međusobno komunicirali o vremenskim uvjetima i pratili okolinu za prepreke poput ljudi ili životinja. Drugi patenti iz 2017. opisuju centralizirane sustave za upravljanje flotom dronova i mreže koje povezuju dronove radi identifikacije tijekom leta. Amazon također planira koristiti program dostave dronovima za prikupljanje podataka o potrošačima. Jedan patent predlaže sustav koji analizira video snimke s dronova kako bi identificirao karakteristike destinacija i generirao preporuke proizvoda, na primjer, prepoznajući bolesno drveće u dvorištu i preporučujući vrtne proizvode. Što se tiče dizajna, Amazon je predstavio različite modele dronova, uključujući sklopive multirotoare i dronove s fiksnim krilima koji mogu vertikalno poletjeti i sletjeti. Različiti dizajni omogućili bi dostavu širokog spektra paketa, a dinamički prilagodljivi dijelovi dronova optimizirali bi njihovu učinkovitost tijekom leta. Tvrtka također istražuje načine kako kombinirati svestranost rotacijskih dronova s brzinom i učinkovitošću sustava s fiksnim krilima. U 2017. godini, dodijeljen je patent za sustav u kojem mali multirotorski dronovi vertikalno podižu dron s fiksnim krilima do visine na kojoj može početi samostalno letjeti. Nakon isporuke, rotacijski dron se vraća na bazu kako bi lansirao sljedeći dron. Tvrtka također razmatra modularne dronove koje bi robotski sustav mogao graditi za svaku misiju. Patent iz 2016. pokazuje kako robot bira komponente drona na temelju karakteristika paketa, vremenskih uvjeta i drugih čimbenika. Društvo je patentiralo dizajn drona s prilagodljivim podvozjem koje prilagođava duljinu nogu kako bi dron bio horizontalan pri slijetanju. Drugi dizajn uključuje propelere s podesivim vrhovima koji se mogu sklopiti za smanjenje otpora. U lipnju 2017. patenti su uključivali propelere s nazubljenim rubovima za smanjenje buke, kao i dronove koje je moguće kontrolirati rukama. Tvrtka se također susretala s izazovima kapaciteta tereta i izdržljivosti. Dronovi su ograničeni u prenošenju teških tereta dulje vrijeme, pa su patenti za sustav "Kolektivnih Bepilotnih Zrakoplova" razvijeni za spajanje više dronova u jedan veliki zrakoplov. Trajanje baterije malih komercijalnih dronova predstavlja značajnu prepreku, pa je patentiran sustav za postaje za punjenje dronova na visokim strukturama poput lampi i telefonskih tornjeva. Za dostavu u urbanim područjima, Amazon je patentirao visoke tornjeve unutar gradova s više priključaka za dronove. Također istražuje ideju dronova koji bi mogli slijetati na pokretne vozila, čime bi se očuvala energija baterije. Još ambicioznija ideja je "zračni centar za ispunjavanje" - golem zračni brod koji bi služio kao mobilno središte za mreže dostavnih dronova. Patenti iz kolovoza 2017. godine predviđaju mobilne popravne stanice za dronove koje bi mogle biti montirane na vlakove, kontejnerske brodove ili kamione, omogućujući brže servisiranje i popravak dronova na mjestima s velikim zahtjevima. Slika () prikazuje Amazon-ovu viziju drona i načina rada istog. [12]



Slika 8. Primjer drona tvrtke Amazon, [12]

Dronovi predstavljaju značajan tehnološki napredak s potencijalom za transformaciju mnogih industrija. Njihova sposobnost za brzu i učinkovitu dostavu, praćenje te pružanje novih usluga otvara brojne mogućnosti za poboljšanje operacija u logistici, nadzoru i drugim područjima. Iako se suočavaju s izazovima poput ograničenog trajanja baterije, regulacija i sigurnosti, inovacije u dizajnu i tehnologiji dronova nastavljaju unapređivati njihove sposobnosti. S obzirom na stalni razvoj i prilagodbu ovih tehnologija, dronovi će vjerojatno igrati sve važniju ulogu u svakodnevnom životu i poslovnim procesima u budućnosti. [13]

### **3.3.2. Automatski kiosci i ormarići**

Automatski kiosci i ormarići za preuzimanje paketa predstavljaju inovativno rješenje za dostavu koje omogućuje korisnicima jednostavan i siguran način preuzimanja svojih narudžbi. Primjer automatskog kioska prikazan je na slici. Ovi sustavi, poput Amazon Locker-a i Parcel Pending-a,

nude unaprijed postavljene lokacije u urbanim područjima, trgovačkim centrima, ili blizu stambenih kompleksa, gdje korisnici mogu preuzeti svoje pakete u bilo kojem trenutku. Korisnici dobivaju jedinstveni kod ili QR kod putem e-pošte ili SMS-a, koji koriste za otključavanje odgovarajućeg ormarića ili kioska. Ovi sustavi često dolaze s višestrukim odjeljcima različitih veličina kako bi mogli primiti pakete različitih dimenzija. Automatizirani pristup eliminira potrebu za kontaktom s dostavljačem, smanjuje rizik od provale i omogućuje veću fleksibilnost pri preuzimanju paketa. Automatski kiosci i ormarići također mogu smanjiti potrebu za ponovnim pokušajem dostave i smanjiti troškove povezane s neuspjelim dostavama, čime se poboljšava učinkovitost cijelog procesa isporuke. Ovaj sustav je posebno koristan u urbanim sredinama gdje je dostava na kućnu adresu često otežana zbog gužvi i nedostatka parkirnih mjesta. Sukladno robotizaciji, sustav automatskih kioska i ormarića predstavlja veliki dio robotizacije u dostavnim procesima. Vrlo često sustav prate i roboti koji se koriste za premještanje i organizaciju paketa. "Last mile" često se opisuje kao najskuplji i najmanje učinkovit segment opskrbnog lanca. Visoki troškovi zadnjeg kilometra dijelom su rezultat nedostatka ekonomije razmjera zbog sve fragmentiranih narudžbi. Jedna od strategija za smanjenje visokih troškova i neučinkovitosti na zadnjem kilometru dostave od tvrtke potrošaču (B2C) je implementacija automatskih ormarića za pakete koji djeluju kao nepokretna mjesta za preuzimanje ili preuzimanje pošiljaka, gdje potrošač koristi promjenjivi elektronički kod za otvaranje ormarića i preuzimanje pošiljke. Ormarići su obično dostupni u različitim veličinama, a neki mogu poslužiti i kao mjesta za vraćanje paketa ili za slanje paketa iz ormarića u ormarić, kao i iz ormarića na adresu (ili obrnuto). Smanjenje troškova korištenjem ormarića je značajno. Na primjer, u Poljskoj, koja je lider u usvajanju ormarića, trošak slanja paketa iz ormarića u ormarić je 15% do 30% manji nego slanje iz ormarića na adresu, ovisno o veličini paketa. Već spomenuti Amazon, najveća tvrtka za e-trgovinu u SAD-u, uspješno koristi ormariće. Amazon ima složenu logističku mrežu s nedavnim naglaskom na vertikalnu integraciju e-trgovine koja uključuje ormariće u kojima kupci mogu preuzeti pakete. Amazon je počeo implementirati stanice s ormarićima 2011. godine, a do 2018. bio je većinski pružatelj javnih ormarića, smještenih u više od 900 gradova u SAD-u. Njihov udio na tržištu e-trgovine u SAD-u također je značajan u usporedbi s konkurencijom. Podaci iz SAD-a ukazuju da su tijekom pandemije COVID-19 kućne dostave nerazmjerno koristile višim prihodima i obrazovnijim sektorima populacije. Čak i prije COVID-a, rezultati iz Nacionalne ankete o putovanjima kućanstava (NHTS) iz 2017. godine ukazuju da su kućanstva iznad granice siromaštva dvostruko sklonija online kupovini nego kućanstva ispod granice siromaštva. Većina ormarića (122 od 176 ormarića, ili 69,3%) nalazi se unutar ili na imovini prodavaonica. Sljedeći najčešći domaćini za Amazonove ormariće su ljekarne (22 ormarića, ili 12,5%), robne kuće (9 ormarića, ili 5,1%) i trgovine prehrambenih proizvoda (8 ormarića, ili 4,5%). Preostali domaćini uključuju teretane, banke, restorane, skladišta, hotel, starački dom, centar za vožnju kartinga i druge maloprodaje.



Slika 9. Prikaz ormarića tvrtke Amazon, [14]

Automatski ormarići za pakete značajno su unaprijedili proces dostave, posebno u urbanim sredinama. Njihova primjena omogućava učinkovitiju i ekonomičniju dostavu, smanjujući troškove posljednjeg kilometra i vrijeme dostave. Ovi ormarići služe kao neovisne točke za preuzimanje paketa, čime se smanjuje potreba za ponovnim pokušajima dostave i omogućuje korisnicima fleksibilnost u preuzimanju paketa u vrijeme koje im najviše odgovara. Prednosti automatskih ormarića uključuju smanjenje operativnih troškova za dostavljače, jer se smanjuje potreba za posjetima kućama ili uredima, te povećanje sigurnosti paketa, jer su oni zaštićeni unutar ormarića dok čekaju preuzimanje. Također, ovakvi sustavi pomažu u smanjenju emisija CO<sub>2</sub>, jer optimiziraju rute dostave i smanjuju broj vozila na cesti. Korisnici cijene fleksibilnost koju ormarići pružaju, jer mogu preuzeti pakete kad god im odgovara, bez potrebe za prilagođavanjem vlastitog rasporeda dostavi. U konačnici, automatski ormarići doprinose poboljšanju cjelokupnog iskustva dostave, čineći ga bržim, sigurnijim i povoljnijim za sve uključene strane. [14]

#### **4. DHL kao primjer robotiziranog logističkog sustava**

Nakon objašnjenih specifičnosti robotiziranog logističkog sustava, u daljnjem je tekstu opisan primjer globalnog sustava koji uvelike koristi robotizaciju. Kao jedan od prvih sustava u integraciji naprednih tehnologija u logističkim procesima, DHL je usmjerio značajne resurse na robotizaciju kako bi unaprijedio učinkovitost, brzinu i preciznost svojih operacija. Jedan od ključnih aspekata DHL-ove strategije robotizacije je implementacija automatiziranih sustava u svojim skladištima i distribucijskim centrima. Korištenjem robota za obavljanje zadataka poput sortiranja, pakiranja i premještanja paketa, DHL je uspio optimizirati radne procese, smanjiti vrijeme obrade narudžbi i povećati kapacitet svojih objekata. Ovi sustavi ne samo da poboljšavaju operativnu učinkovitost, već također pomažu u smanjenju ljudskih pogrešaka i povećanju sigurnosti radne snage. Pored toga, DHL je usvojio robote za rješavanje specifičnih izazova u logistici, kao što su autonomni transportni vozila i dronovi za dostavu. Ovi inovativni pristupi omogućavaju bržu isporuku paketa, posebno u urbanim sredinama, te poboljšavaju preciznost i pouzdanost dostave. DHL-ov primjer robotizacije u logistici pokazuje kako integracija naprednih tehnologija može revolucionirati način na koji se obavljaju logistički poslovi. Kroz stalna ulaganja u istraživanje i razvoj, DHL ne samo da postavlja standarde u industriji, već i pruža uvid u budućnost logistike, gdje automatizacija i digitalizacija igraju ključnu ulogu u oblikovanju učinkovitijih i održivijih operacija. Kao što je istaknuto u DHL-ovom Logistics Trend Radar izvješću, nekoliko ključnih tehnoloških trendova značajno će pozitivno utjecati na budućnost. Primjeri uključuju održivu energiju, medicinsku informatiku, 3D ispis, sekvenciranje gena, analitiku velikih podataka i autonomna vozila. Još jedan značajan tehnološki trend koji će imati dubok i pozitivan utjecaj na društvo je razvoj napredne robotike. Inovativni roboti već danas podržavaju liječnike u operacijama koje su manje invazivne i sigurnije za izvođenje. U bolnicama, roboti surađuju s medicinskim osobljem kako bi pravovremeno dostavljali obroke i lijekove pacijentima. Dizajnirani su roboti koji uklanjaju opasne mine i pomažu u oporavku od prirodnih katastrofa na način koji bi bio previše rizičan za ljude. Istraživanja pokazuju da je 80% trenutnih skladišta ručno operirano bez ikakve podrške automatizacije. Ta su se skladišta suočila sa zahtjevima za povećanom produktivnošću i protokom robe podržavajući postojeće radnike dobrim dizajnom rasporeda, mobilnom opremom za rukovanje materijalom i stalnim unapređivanjem IT sustava. Oko 15% današnjih skladišta je mehanizirano. Osim tehnologije koja se koristi u ručnim skladištima, ovi distribucijski centri također koriste određenu vrstu automatizacije za rukovanje materijalom, poput pokretnih traka, sortirnih sustava, "goods-to-picker" rješenja i druge mehanizirane opreme za daljnje poboljšanje produktivnosti postojeće radne snage. Istraživanje također pokazuje da je samo 5% trenutnih skladišta automatizirano. Današnja stvarnost je da su ta automatizirana skladišta obično visoko mehanizirani sustavi koji još uvijek zapošljavaju ljude na ključnim funkcijama. Primjer bi mogao biti moderan sortirni centar koji ima mnogo veću produktivnost i točnost od prethodnih generacija. Čak i uz svu naprednu tehnologiju, u velikim sortirnim centrima još uvijek može raditi više od tisuću

zaposlenika koji obavljaju dužnosti utovara i istovara kamiona, rukovođenja ULD kontejnera za pakete te ručnog sortiranja predmeta neobične veličine. Roboti također surađuju s radnicima u tvornicama diljem svijeta, gdje služe kao pomoć u montaži proizvoda uz višu kvalitetu i niže troškove. U daljnjem tekstu opisan je DHL-ov pregled trenutnog stanja robotike u logistici te je jasno opisana vizija transformacije i unapređivanja lanaca opskrbe. Različitost i specifičnost tehnologija koje DHL primjenjuje očituje se u korištenju više vrsta robota, unutarnje mobilne robote i stacionarne robote. Unutarnji mobilni roboti su prijenosni roboti koji se kreću unutar objekata bez izravnog unosa od strane ljudskih operatera. Već prethodno objašnjeni i opisani, automatizirano vođeno vozilo ili njegova naprednija verzija, autonomni mobilni robot, planira put u stvarnom vremenu te može prepoznati i zaobići prepreke. Također u skupinu unutarnjih mobilnih robota, DHL uključuje i autonomni sigurnosni robot, koji je prikazan na slici () i automatiziranog sustava za skladištenje i preuzimanje. Funkcija autonomnog sigurnosnog robota je sprječavanje krađe zaliha, a funkcija automatiziranog sustava za skladištenje i preuzimanje je poboljšanje iskorištenosti skladišnog kapaciteta. Stacionarni roboti obavljaju zadatke dok su pričvršćeni za pod, strop ili druge površine – obično u obliku robotske ruke. Njihova upotreba datira iz proizvodnje iz 1950-ih, ali moderna umjetna inteligencija otvorila je mnoge nove mogućnosti za povećanje učinkovitosti i smanjenje pogrešaka putem automatizacije skladišta, uključujući sortiranje pošiljki, uzimanje i postavljanje te paletizaciju i depaletizaciju. Stacionarni roboti dolaze u dvije vrste: industrijski roboti i kolaborativni roboti. [15]



Slika 10. Prikaz autonomnog sigurnosnog robota, [15]

#### 4.1 Kolaborativni roboti

Kolaborativni roboti, poznati i kao "coboti", dizajnirani su da rade zajedno s ljudima u zajedničkom radnom prostoru, čime se smanjuje potreba za potpunom automatizacijom i omogućava optimalna sinergija između ljudske inteligencije i robotske preciznosti. Uvođenje cobota u DHL-ove skladišne i logističke centre značajno je poboljšalo radne procese, posebno u zadacima koji

zahtijevaju ponavljajuće radnje, kao što su preuzimanje, pakiranje i sortiranje paketa. Coboti su fleksibilni i lako se mogu prilagoditi različitim zadacima, što omogućava brzo prilagođavanje promjenjivim potrebama u logistici. Osim što povećavaju produktivnost, ovi roboti pomažu u smanjenju fizičkog opterećenja radnika, čime se poboljšava sigurnost na radu i smanjuje rizik od ozljeda. DHL je prepoznao da kombinacija ljudske vještine i robotičke snage može donijeti najbolje rezultate u složenim logističkim operacijama. DHL-ova primjena kolaborativnih robota predstavlja značajan korak naprijed u modernizaciji logističke industrije. Ova inovacija ne samo da poboljšava operativnu učinkovitost, već i omogućava bržu i precizniju obradu narudžbi, što rezultira većim zadovoljstvom korisnika. Kolaborativna robotika trenutno privlači najviše pažnje u svijetu robotike. Ovi roboti, poznati i kao co-boti, osmišljeni su za rad zajedno s ljudima u zajedničkom radnom okruženju. Na primjer, čovjek može započeti zadatak, a kobot ga dovršava. U logistici, koboti mogu preuzeti zadatke poput rukovanja teškim paketima pod ljudskim nadzorom ili obavljanja dugih transportnih poteza kako bi smanjili potrebu za nepotrebnim hodanjem radnika. Ključni aspekt kolaborativne robotike je zajednički radni prostor. Tradicionalni industrijski roboti obično su smješteni u velikim kavezima radi sigurnosti i odmah se isključuju ako osoba uđe u njihov prostor. Nasuprot tome, koboti su dizajnirani tako da su sigurni za rad u neposrednoj blizini ljudi. To se postiže smanjenjem njihove snage i brzine, korištenjem novih tipova zglobova i materijala, te ono najvažnije - naprednim senzorima koji, u slučaju sudara s osobom, automatski isključuju kobota. Ideja je da roboti koji su prisutni u distribucijskim centrima budu raspoređeni uz tradicionalne zaposlenike skladišta. Kada je riječ o centrima za sortiranje paketa, vizija je da će roboti surađivati s vozačima kamiona. Ukoliko roboti za dostavu paketa postanu uobičajeni u budućnosti, morat će izravno komunicirati s ljudima. U svim scenarijima jasno je da će kolaborativni roboti biti učinkovitiji od onih koji rade samostalno. Kako bi radnici prihvatili robote kao suradnike, ključno je bilo osigurati nesmetanu interakciju između ljudi i strojeva, kao i jednostavne načine za reprogramiranje robota i prilagodbu novim zadacima. Mnoge tvrtke razvijaju robote koji se mogu trenirati putem zaslona osjetljivih na dodir i koji imaju jednostavna korisnička sučelja. U nekim novim dizajnima, operateri mogu izravno dodirivati i pomicati robotsku ruku, doslovno podučavajući robota njegovim zadacima. Sada čak i osobe bez tehničkog znanja mogu prilagođavati, podučavati, premještati i instalirati ove robote, što pojednostavljuje njihovu upotrebu i uvelike smanjuje troškove.

Većina industrijskih robotskih ruku su ili dvoprsti „stiskači” ili gumene vakuumske čašice. Ove ruke nisu fleksibilne i obično su dizajnirane da odgovaraju specifičnim predmetima koje uzimaju. U mnogim tvornicama, robotima je potrebno promijeniti ruke između zadataka kako bi se osigurala odgovarajuća ruka za posao. Njemačka tvrtka Schunk dizajnira i prodaje robotske hvataljke diljem svijeta. Izazvali su svoje inženjere da dizajniraju hvataljku koja može obraditi širok raspon predmeta. Rješenje je bilo slijediti prirodu i imitirati ljudsku ruku s pet prstiju, dvadeset zapešća i devet motora. DHL svakodnevno rukuje velikim brojem različito oblikovanih predmeta i paketa, zahtijevajući maksimalnu fleksibilnost u rukovanju materijalom. Korištenje robotske ruke koja imitira ljudsku može biti ključ za pružanje fleksibilnosti robota potrebne za rad u logističkom svijetu. Cijene robotskih ruku također su značajno pale. Primjerice, između 1990. i



2005. godine cijena robotskih ruku smanjila se za 80%. Od tada su cijene nastavile padati, a u posljednjih nekoliko godina pojavila se nova, pristupačnija kategorija kolaborativnih robotskih ruku. Tvrtka, Universal Robotics iz Odensea u Danskoj, proizvodi male kolaborativne industrijske robotske ruke. Osnovni model robotske ruke s kontrolerom prodaje se za 34.000 dolara. Robotska ruka prati električnu struju koja se koristi u njezinim motorima i automatski će se isključiti ako udari u osobu. Teška samo 18 kg, izrađena je od laganih materijala, što dodatno smanjuje mogućnost da nekoga ozlijedi. Trenutno BMW koristi razne modele robota Universal Robotics-a u svojoj tvornici u Južnoj Karolini, SAD. Roboti obavljaju poslove montaže, a BMW ih vidi kao dodatak, a ne zamjenu za ljudske radnike. Tržište pokazuje veliki interes za jeftinije robote koji mogu sigurno raditi uz ljude, što potvrđuje godišnja stopa rasta Universal Robotics-a od preko 70% i nedavna prodaja tvrtke Teradyneu za 350 milijuna dolara. Veći proizvođači robota primijetili su uspjeh firme Universal Robotics. ABB Robotics, koja ima drugu najveću instaliranu bazu industrijskih robota na svijetu, predstavila je 2015. godine novi kolaborativni robot nazvan YuMi, što znači „Ti i ja radimo zajedno“. YuMi je dvoruki robot čija cijena iznosi 40.000 dolara, namijenjen industriji elektronike i montaži malih dijelova. Za razliku od YuMi-ja, DHL-ovi roboti koriste različite modele kolaborativnih robota za različite zadatke u skladištima i distribucijskim centrima. Ovi roboti mogu uključivati sustave za automatsko sortiranje, preuzimanje paketa i druge logističke zadatke. Ključne razlike su u specijalizaciji i primjeni. YuMi je posebno dizajniran za precizno rukovanje malim komponentama u industrijskim okruženjima, dok kolaborativni roboti koje koristi DHL mogu imati različite specijalizacije za rukovanje pakiranim dobrima, sortiranje i druge zadatke u logistici. YuMi je više usmjeren na preciznu montažu i složene zadatke, dok DHL-ovi roboti mogu biti usmjereni na automatsko rukovanje materijalom i operacije u velikim skladištima. Mnoge logističke tvrtke sada prepoznaju potencijal za velike ekonomske dobitke primjenom stacionarnih robota za ponavljajuće procese, posebno usred nedavne nestabilnosti u potražnji i nedostatka kvalificiranih radnika u skladištima nakon pandemijske "Velike ostavke". Tvrtke iz svih industrija testiraju stacionarna robotska rješenja i otkrivaju najperspektivnije primjene za svoje logističke operacije. [15]



Slika 11. Prikaz kolaborativnog robota u skladištu, [15]

## 4.2 DHL-ov Paketkopter

U kontekstu DHL-a, roboti za dostavu također igraju ključnu ulogu. DHL koristi različite vrste mobilnih robota kako bi unaprijedio svoje logističke operacije. Sa stalnim napretkom u tehnologiji mobilnih robota, DHL očekuje da će moći proširiti ove inovacije na još veće razine, uključujući potencijalno proširenje primjene robota u vanjskim dostavama i integraciju s naprednim sustavima za upravljanje skladištima. Roboti za dostavu trenutno premještaju poštu i potrepštine unutar ureda, stambenih kompleksa i drugih velikih prostora. UAV tehnologija, ili tehnologija bespilotnih letjelica, značajno oblikuje budućnost logistike, a DHL je jedan od pionira u njejoj primjeni. U kontekstu DHL-a, UAV-ovi predstavljaju ključni korak prema modernizaciji dostavnih usluga i rješavanju izazova u transportu. DHL prvi je put predstavio svoj Paketkopter (slika()) 2013. godine u Njemačkoj, testirajući tehnologiju dronova za dostavu paketa na udaljenim i teško dostupnim lokacijama. Ova letjelica koristi autonomnu navigaciju za isporuku paketa u ruralna područja, funkcionira autonomno, izvan vidokruga pilota, i može obaviti letove do 30 minuta, što predstavlja značajan napredak u rješavanju problema prve i posljednje milje u logistici. DHL je u suradnji s tvrtkom Matternet testirao upotrebu dronova za dostavu medicinskih uzoraka i lijekova između bolnica i laboratorija u Sjedinjenim Američkim Državama. Ovaj projekt je demonstrirao sposobnost dronova za brzu i sigurnu isporuku u urbanim sredinama. George Barbastathis s Harvard-MIT Odjela za zdravstvene znanosti i tehnologiju započeo je istraživanje UAV-ova "za brzu dostavu cjepiva u ruralna područja i ublažavanje problema prve i posljednje milje te poboljšanje troškova, kvalitete i pokrivenosti zaliha cjepiva."

Za logističku industriju, ruralna dostava putem UAV-a je atraktivna ne samo u hitnim primjenama jer niskovolumenska udaljena područja predstavljaju skupi dio standardnih mreža. Nadalje, često zahtijevaju nestandardnu infrastrukturu prilagođenu regionalnim specifičnostima (npr., planinska okruženja ili dostava na otocima). Za udaljena otočna mjesta, moguće je koristiti UAV-ove za dostavu paketa na obližnje otoke, bilo da zamjenjuju postojeći (i složeni) proces koji uključuje automobile, čamce i poštare, ili pružaju nove, dodatne usluge. To bi mogli biti izvansezonske usluge dostave koje potječu s kopna ili specifične brze usluge. UAV poznat kao DHL Paketkopter ("paket-kopter") bio je pod stalnim ručnim nadzorom operatera kako bi se zadovoljili regulatorni zahtjevi. Međutim, s tehničkog stajališta, mogao je raditi potpuno autonomno slijedeći GPS koordinate. Vozilo je bilo opremljeno mehanizmom za otpuštanje koji mu je omogućio da spusti paket putem daljinskog upravljača ili unaprijed programiranih uputa. Na temelju obećavajućih rezultata testnih letova u prosincu 2013., DHL je ojačao razvoj ove primjene i udružio se s tvrtkama Microdrones i RWTH Aachen University kako bi pokrenuo pionirski istraživački projekt o ruralnim dostavama na otocima. Projekt se odvio na sjevernom otoku Juist u Njemačkoj, s ciljem dostave lijekova i drugih vremenski kritičnih dobara putem UAV-a iz ljekarne koja se nalazi otprilike 12 km od otoka. Letjelica je bila pod ručnom kontrolom operatera kako bi se zadovoljili regulatorni zahtjevi, ali je mogla funkcionirati autonomno pomoću GPS koordinata. Paketkopter je testiran na isporukama lijekova i drugih vremenski kritičnih dobara. Projekt je pokazao obećavajuće rezultate u pogledu učinkovitosti dostave i sposobnosti UAV-a da premosti razmake u infrastrukturi. DHL je nastavio istraživati potencijal UAV-ova u različitim aplikacijama, uključujući mogućnosti za unapređenje dostave u urbanim i ruralnim područjima. Iako je projekt Paketkopter pokazao potencijal, još uvijek se suočava s izazovima poput regulacije i integracije u postojeće logističke mreže. DHL nastavlja raditi na razvoju i implementaciji UAV tehnologije, istražujući nove načine za poboljšanje dostavnih usluga. [15]



Slika 12. Prikaz DHL-ovog paketkoptera, [15]

### 4.3 Vizija budućnosti u logistici DHL-a

U prethodnim poglavljima opisani su primjeri inovativnosti koje DHL već koristi u svojem sustavu, izuzev Paketkoptera koji je i dalje u fazi dorade. Uvođenje umjetne inteligencije u svakodnevni život, također će imati utjecaj na logističke procese. U daljnjem tekstu opisani su ciljani izgledi i funkcionalnosti distribucijskih i sortirnih centara te sustav dostave na posljednjoj milji u budućnosti.

#### 4.3.1. Distribucijski centri

Distribucijski centri budućnosti neće biti samo mjesta skladištenja i distribucije robe, već će se transformirati u visokoautomatizirane i digitalno povezane ekosustave, gdje će roboti, umjetna inteligencija (AI) i napredni sustavi za upravljanje skladištem (WMS) igrati ključnu ulogu. Ova transformacija neće samo povećati učinkovitost i produktivnost, već će značajno smanjiti operativne troškove i povećati točnost isporuka.

Kada se usporede s današnjim distribucijskim centrima, robotski skladišta budućnosti vjerojatno će biti poboljšana u gotovo svim aspektima. Ova visoko skalabilna postrojenja bit će

fleksibilnija i brža za preseljenje te će postizati veću produktivnost uz povećanu kvalitetu. Operacije unutar takvih centara uključivat će različite tipove robota, od kojih će svaki imati specifičan zadatak, poput istovara kamiona, kopakiranja, preuzimanja narudžbi, provjere inventara ili otpreme robe.

Većina ovih robota bit će mobilna i samostalna, ali će biti koordinirana kroz napredne sustave za upravljanje skladištem opremljene softverom za planiranje koji će pratiti kretanje inventara i napredak narudžbi s visokom preciznošću. Ukupna pouzdanost ovih centara značajno će se povećati, budući da će imati manje "pojedinačnih točaka kvara". Svaki robot će djelovati kao individualna jedinica, a u slučaju kvara, brzo će se maknuti sa strane i zamijeniti drugom jedinicom iz flote robota. Novi robot će biti povezan s oblakom, što će mu omogućiti automatsko preuzimanje potrebnih podataka kako bi preuzeo zadatke svog prethodnika.

Fleksibilnost robota omogućit će brzu prilagodbu na promjene u potražnji, što je često izazov u tradicionalnim distribucijskim centrima. U razdobljima povećane potražnje, jednostavno će se dodati više robota za obavljanje zadataka kao što su preuzimanje i pakiranje narudžbi, dok će se u mirnijim razdobljima ti roboti moći premjestiti na druge lokacije ili privremeno deaktivirati.

Radnici u tim centrima neće biti isključeni iz procesa, već će preuzeti nove, naprednije uloge. Umjesto obavljanja fizički zahtjevnih i ponavljajućih zadataka, radnici će se fokusirati na upravljanje operacijama, održavanje robota i analizu podataka. Primjenom nosivih tehnologija poput egzoskeleta, radnici će moći obavljati teške fizičke zadatke s manje napora i rizika od ozljeda, čime će se poboljšati njihova sigurnost i produktivnost. Kada bude potrebno, roba će se dovesti u područje za kopakiranje, gdje će kolaborativni roboti raditi sigurno uz visoko kvalificirane radnike, transformirajući osnovne proizvode u nove artikle prilagođene individualnim narudžbama.

Uvođenje tehnologije interneta stvari (IoT) dodatno će unaprijediti operacije, omogućujući praćenje stanja i performansi u stvarnom vremenu. Podaci prikupljeni putem IoT-a omogućit će prediktivno održavanje, smanjujući vrijeme zastoja i troškove popravka. Ako sustav prepozna znakove kvara na određenom robotu, automatski će ga zamijeniti drugim robotom i poslati ga na održavanje, čime će se izbjegavati prekidi u radu.

Pored operativnih prednosti, robotski distribucijski centri također će pridonijeti održivosti. Uvođenjem energetski učinkovitih robota i optimizacijom operacija, distribucijski centri će značajno smanjiti svoju potrošnju energije. Nadalje, optimizacija logističkih procesa smanjit će broj nepotrebnih transporta, smanjujući tako emisiju stakleničkih plinova.

Osim toga, očekuje se razvoj novih poslovnih modela u kojima će distribucijski centri nuditi usluge robotizacije i automatizacije kao uslugu (RaaS - Robotics as a Service). Tvrtke koje nemaju kapacitete za ulaganje u vlastite robotske flote moći će unajmiti robote prema svojim potrebama, omogućujući manjim i srednjim poduzećima da iskoriste prednosti robotizacije bez velikih početnih ulaganja. Također, predviđa se da će se razviti tržište za leasing, najam i kupovinu

rabljenih robota, omogućujući kompanijama smanjenje kapitalnih ulaganja i daljnje povećanje operativne fleksibilnosti.

Robotski distribucijski centri bit će temelj pametnih gradova budućnosti, gdje će se svi logistički procesi, od proizvodnje do isporuke, odvijati uz minimalnu ljudsku intervenciju, što će omogućiti brže, preciznije i održivije opskrbe lance. Tvrtke koje se sada prilagode i investiraju u ove tehnologije bit će na čelu ove transformacije, stvarajući prednost u sve konkurentnijem globalnom tržištu. Ova budućnost je bliža nego što se čini, a distribucijski centri će igrati ključnu ulogu u oblikovanju novih standarda u logistici. [15]

### **4.3.2 Sortirni centri**

Sortirni centri budućnosti bit će temeljito transformirani u odnosu na današnje modele, postajući ključna karika u logističkim lancima koji će raditi neprekidno 24 sata dnevno. Ova neprekidna operacija omogućit će usklađivanje s distribucijskim centrima koji će također raditi neprekidno. Robotski skladišta i sortirački centri bit će jednako učinkoviti tijekom posljednje smjene kao i tijekom prve, omogućujući rad u valovima i omogućujući višestruke isporuke krajnjim korisnicima svaki dan. Optimiziranjem korištenja opreme tijekom svih smjena, logistički troškovi će se smanjiti, dok će više dnevnih isporuka omogućiti bržu uslugu krajnjim korisnicima.

Roba će u sortiračke centre dolaziti samovozećim kamionima koji će pristizati prema unaprijed definiranim vremenskim intervalima. Kretanje kamiona na i oko dvorišta bit će učinkovito kontrolirano pomoću GPS-a i sustava za upravljanje dvorištem. Kada kamion stigne na dok, roboti će ga istovariti i sortirati pakete prema njihovim konačnim odredištima.

Postoji nekoliko pristupa za postizanje ove funkcionalnosti. Na primjer, može se koristiti veliki broj mobilnih robota za transport paketa od ulaznih vrata do odgovarajućih područja za utovar. Na slici 13 prikazan je primjer mobilnog robota tvrtke DHL u koji je uvelike povećao produktivnost poslovanja i ubrzao proces sortiranja sortirajući 35% više paketa po satu. Također brzina istog se očituje u sposobnosti da sortira preko 1000 paketa u jednom satu. Svaki mobilni robot će biti opremljen robotskom rukom koja će ga učitati pakete, a zatim će se grupirati i uskladiti s drugim mobilnim robotima kako bi učinkovito transportirao teret kroz sortirni centar. Roboti će moći automatski sortirati i rukovati opasnim materijalima odvojeno i sigurno, zahvaljujući naprednim sustavima za prepoznavanje i klasifikaciju.

Zaposlenici u centru za kontrolu robota nadgledat će sve procese, rješavati probleme, upravljati tijekom rada i donositi ključne operativne odluke. Oni će također obrađivati pakete koji zahtijevaju dodatnu obradu, kao što su ponovno pakiranje, etiketiranje ili carinski nadzor. Ova ljudska nadležnost omogućit će održavanje visoke razine usluge i osiguranje da se svi aspekti isporuka odvijaju glatko i efikasno.

Kada paketi napuste sortirni centar, većina će biti utovarena robotskim rukama u kamione za daljnji transport, koji će ih odvesti do sljedećeg sortirnog centra u mreži. Neki artikli će biti učitan u dronove za zračne isporuke na teško dostupne adrese. Lokalne isporuke bit će učitan u mobilne robote za pakete koji će ih dostaviti na pojedinačne kućne adrese u okolici. Ako je primatelj visoko prioritetni kupac, moći će poslati svoje osobno samovozeće vozilo u sortirni centar; mogu nastaviti s dnevnim obavezama dok se njihov paket automatski smješta u prtljažnik.

S obzirom na sve ove inovacije, prednosti futurističkih sortiračkih centara - brzina, fleksibilnost, veća produktivnost i smanjeni troškovi - očito će rezultirati boljom uslugom za krajnje korisnike, omogućujući bržu dostavu uz niže troškove. Kroz ove napredne tehnologije, logistički sektor će doživjeti značajan napredak, čime će se unaprijediti cjelokupno iskustvo dostave i postaviti novi standardi u učinkovitosti i zadovoljstvu korisnika. [15]



Slika 13. Robotska ruka u procesu sortiranja, [15]

### 4.3.3 Dostava na posljednjoj milji

U budućnosti će se javnost svakodnevno susretati s robotima, koji će postati integralni dio svakodnevnog života. Ti roboti, opremljeni naprednim sensorima poput kamera, laserskih skenera i senzora za blizinu, neće ugrožavati fizičku sigurnost ljudi. Ovi senzori omogućit će robotima da izbjegavaju sudare i interakcije s ljudima, čime će se osigurati sigurno kretanje u urbanim

sredinama. Korištenjem tehnika obrade podataka u oblaku, roboti će pružati visokokvalitetnu korisničku uslugu; bit će u mogućnosti govoriti jezik korisnika, reagirati na njihove emocije i pristupati relevantnim informacijama o računima kako bi osigurali uspješnu interakciju.

Prvi roboti koje će ljudi vjerojatno susresti bit će oni u lokalnim centrima za dostavu paketa. Na primjer, robot asistent može pomoći korisnicima pri slanju poklona starom prijatelju, pružajući jednostavno i učinkovito rješenje za slanje paketa. Također, redovita pojava može biti primanje e-maila koji obavještava korisnika da je mali paket spreman za preuzimanje u mobilnom ormariću za pakete smještenom ispred obližnje trgovine.

Kako će paketi stizati u te ormariće? Svako jutro, samovozeći kamioni zamijenit će postojeće ormariće s novim ormarićima koji sadrže pakete koje su robotizirani sustavi u lokalnom sortirnom centru pripremili prethodne večeri. Ovaj sustav omogućuje neprekidno obnavljanje ormarića s novim paketima, čime se smanjuje vrijeme čekanja i povećava učinkovitost dostave.

Pored toga, u budućnosti se može očekivati da će mobilni ormarići postati standard u urbanim sredinama. Ovi ormarići će biti opremljeni tehnologijom za automatsko otključavanje, omogućujući korisnicima da preuzmu svoje pakete jednostavno putem mobilnih aplikacija. Također, očekuje se da će roboti sve više preuzimati ulogu u upravljanju tim ormarićima i rješavanju bilo kakvih problema koji se mogu pojaviti.

S obzirom na sve ove inovacije, dostava na posljednjoj milji će značajno unaprijediti iskustvo korisnika. Brža, sigurnija i pouzdana dostava uz manji utjecaj na ljudski rad, uzrokovat će transformaciju u načinu na koji ljudi primaju pakete, postavljajući nove standarde u učinkovitosti i udobnosti usluga dostave. [15]



## **5. Ostali trendovi robotizacije**

Trenutne primjene robotizacije u logistici opisane su u prethodnim poglavljima. Obuhvaćaju korištenje automatiziranih skladišta, robotskih sustava u skladištima i distributivnim centrima te dostavnih robotskih sustava. S obzirom da je vidljiv veliki napredak tehnologije u logistici unazad 20 godina, daljnji razvoj i inovativnost nužni su za napredak poslovanja i povećanja konkurentnosti na tržištu. Umjetna inteligencija uvelike je utjecala na način rada robota. Razvijanje robota s naprednim mogućnostima integracije umjetne Inteligencije (AI) i strojnog učenja (ML) omogućit će robotima da bolje razumiju i reagiraju na dinamične okoline, čime će se unaprijediti njihova sposobnost autonomnog donošenja odluka i prilagodbe u stvarnom vremenu. Razvojem tehnologije i stalnim napretkom u robotici, logistički sektori diljem svijeta doživljavaju značajne promjene. Novi trendovi u robotiziranim logističkim sustavima ne samo da unapređuju efikasnost operacija, već i transformiraju način na koji se upravlja lancem opskrbe i logističkim procesima. Ovi trendovi uključuju primjenu novih modela i tehnika koje su ključne za optimizaciju procesa i poboljšanje učinkovitosti. U modernim robotiziranim sustavima često se koriste različiti modeli procesa za upravljanje različitim aspektima logistike. Primjerice, SCOR model (Supply Chain Operations Reference model) pruža okvir za analizu i poboljšanje operacija u lancu opskrbe, uključujući materijalni, informacijski, financijski i energetske tok. Ovi modeli omogućuju učinkovitije upravljanje i integraciju različitih vrsta toka podataka i resursa u logistici. Postoji nekoliko pristupa za poboljšanje logističkih procesa, a svaki od njih igra važnu ulogu u optimizaciji i robotizaciji. U nastavku su opisani novi trendovi koji se mogu koristiti u robotiziranim logističkim sustavima.

### **5.1. Novi trendovi tehnologija**

#### **Cloud Softver**

Cloud softver revolucionizira način na koji se upravlja informacijama i aplikacijama u logistici. S novim uslugama koje uključuju infrastrukturu kao uslugu (IaaS), platforme kao uslugu (PaaS) i softver kao uslugu (SaaS), tvrtke mogu pristupiti memorijskim kapacitetima, procesorskoj snazi i aplikacijama putem interneta, bez potrebe za lokalnom instalacijom. Ovo omogućuje skalabilnost i fleksibilnost u upravljanju resursima, kao i bržu prilagodbu promjenjivim potrebama tržišta.

#### **Edge Computing**

Edge computing omogućuje obradu i kompresiju podataka na lokalnim uređajima, umjesto da se svi podaci šalju u oblak. Ova metoda smanjuje količinu podataka koja se mora prenijeti i pohraniti, čime se štede resursi i poboljšava učinkovitost. Edge computing omogućuje brže donošenje odluka jer se podaci obrađuju bliže izvoru, što je ključno za aplikacije u stvarnom vremenu u logistici.

## **Umjetna Inteligencija**

Umjetna inteligencija (AI) koristi različite metode kao što su umjetne neuronske mreže, fuzzy logika i evolucijski algoritmi za optimizaciju logističkih procesa. AI može unaprijediti procese analitikom (preskriptivna analitika), predviđati kvarove i smetnje (prediktivno održavanje), te poboljšati učinkovitost sustava kroz složene analize podataka.

## **Pattern Matching i Analiza Velikih Podataka**

S povećanjem volumena podataka, učinkovitost obrade podataka postaje ključna. Pattern matching i analiza velikih podataka omogućuju evaluaciju situacija i prognozu budućih događaja. Ovi alati pomažu u prepoznavanju obrazaca u velikim skupovima podataka, što može značajno poboljšati odluke u logistici.

## **Tehnologija Blockchain**

Blockchain tehnologija omogućuje automatsko bilježenje logističkih aktivnosti pomoću pametnih ugovora. Ova tehnologija osigurava transparentnost i nepromjenjivost podataka, čime se poboljšava praćenje i upravljanje logistikom te smanjuje rizik od prijevara.

## **Decentralizacija i Samoorganizacija**

Decentralizirane i samoorganizirane strukture omogućuju višestruke interakcije unutar logističkog područja, često s jakom dinamičkom nelinearnošću. Ovi sustavi omogućuju veću fleksibilnost i prilagodbu u upravljanju logističkim operacijama.

## **Umrežavanje**

Internet stvari (IoT) povezuje fizičke i virtualne objekte koristeći informacijske i komunikacijske tehnologije. Cilj je razviti Internet usluga (IoS) koji će omogućiti sofisticirane interakcije i upravljanje uslugama unutar logistike.

## **Autonomna Vozila**

Autonomna vozila omogućuju premještanje, rukovanje i transport bez potrebe za vozačem ili pilotom. Ovi sustavi poboljšavaju energetska učinkovitost, povećavaju kapacitet transportnih sredstava i podržavaju procese poput transporta, isporuke, rukovanja alatima i dijelovima, sastavljanja, kontrole kvalitete i održavanja.

## **Nove Profesije i Aktivnosti u Logistici**

Kako se logistički sektor razvija, pojavljuju se nove profesije i aktivnosti, uključujući specijaliste za podatke, pilote dronova, koordinate robota, digitalne menadžere transporta i globalne menadžere lanca opskrbe. Ove uloge zahtijevaju specifične vještine i znanja za upravljanje modernim logističkim operacijama.

## **Infrastruktura i Pametna Infrastruktura**

Razvoj infrastrukture, uključujući infrastrukturu za e-mobilnost i bicikle za teret, postaje ključan za podršku modernim logističkim sustavima. Projekti poput 5G komunikacije za mobilnost i komunikaciju u tvornicama omogućuju bržu i pouzdaniju povezanost, što poboljšava učinkovitost logističkih operacija.

Ovi trendovi u donose značajna poboljšanja u načinu na koji se upravlja logističkim procesima, povećavajući brzinu, fleksibilnost i efikasnost u cijelom lancu opskrbe. Integracija naprednih tehnologija omogućuje bolje prilagođavanje zahtjevima tržišta i poboljšanje usluge za krajnje korisnike. Korištenje tipičnih procesa u logistici obuhvaća primjenu tehnika kao što su JIT (Just-In-Time), JIS (Just-In-Sequence), KANBAN i CONWIP za smanjenje zaliha i poboljšanje toka materijala u skladištima. Najbolje prakse i prenošenje rješenja koriste benchmarking i analogiju za usporedbu s industrijskim standardima i primjenu uspješnih rješenja. Inovacije poput Business Process Reengineering (BPR) i Logistike 4.0 donose radikalne promjene kroz napredne tehnologije i automatizaciju, dok tehnike kao što je KAIZEN omogućuju kontinuirana poboljšanja postojećih procesa.

Specijalizirani alati uključuju definiranje ciljeva i trendova pomoću tehnika poput SWOT analize i TOWS, te promicanje ekološki odgovornog ponašanja kroz zelene lance opskrbe. Vrijednost i eliminacija otpada postižu se mapiranjem toka vrijednosti i lean tehnikama, dok prihvaćanje bez grešaka koristi Six Sigma i TQM za osiguranje kvalitete. Klasična automatizacija (Logistika 3.0) omogućuje osnovnu automatizaciju, dok digitalizacija (Logistika 4.0) uvodi pametne logističke zone i napredne alate.

Identifikacija potencijala i slabosti u lancu opskrbe pomaže u prepoznavanju područja za poboljšanje, dok analize poput ABC i XYZ pomažu razumijevanju kretanja resursa. Kontroliranje uspješnosti koristi metode poput Balanced Scorecard-a za praćenje performansi kroz različite perspektive. [16]

## **5.2 Amazon i Kiva roboti**

Već spomenuti Amazon 2012. je godine preuzeo tvrtku Kiva Systems, koja je razvila autonomne mobilne robote specijalizirane za skladišne operacije. Danas, Kiva roboti (poznati i kao Amazon Robotics) igraju ključnu ulogu u Amazonovim centrima za ispunjenje narudžbi. Ovi roboti autonomno premještaju police s proizvodima unutar skladišta do radnika, čime se značajno povećava brzina i efikasnost u obradi narudžbi. Amazon, kao jedna od najvećih multinacionalnih e-trgovina, stvorio je novi logistički model pod nazivom "polica do ljudi" koristeći Kiva robotski susta. U gradu Massachusettsu, smješten je veliki operativni centar Quiet Logistics s površinom od 25.500 četvornih metara. U ovom distribucijskom centru, 200 robota pomaže radnicima u obradi 10 do 20 tisuća narudžbi dnevno. Uz pomoć tih robota, ukupna učinkovitost sustava prikupljanja

narudžbi poboljšava se 3,5 do 5 puta. U ovom novom sustavu prikupljanja, roboti pretražuju mobilne police pune proizvoda prema barkodu i zatim ih premještaju izravno pred radnika koji pakira, gdje se odabrani artikli dodatno sortiraju i pregledavaju. Zaposlenici Amazona stoje na jednom mjestu i obavljaju sav posao, što znači da se vrijeme koje radnici troše hodajući gotovo potpuno eliminira u Kiva sustavu. Kiva robotski sustav ne samo da smanjuje nepotrebne troškove rada, već i svojom tankom konstrukcijom i učinkovitim planiranjem ruta povećava skladišni prostor smanjujući površinu potrebnu za prolaze, čime se poboljšava protok cijelog sustava. Pojava Kiva robota omogućava e-trgovinama učinkovito rukovanje velikim brojem raznolikih narudžbi i smanjenje pritiska na isporuku tijekom sezonskih šopinga poput "Crnog petka". U usporedbi s tradicionalnim distribucijskim centrima, Amazonov Kiva sustav uvodi novi tip multi-robotskog sustava za prikupljanje narudžbi, zamjenjujući konvencionalne automatizirane skladišne sustave i transportne trake. Kiva robot, iako malen, može nositi tonu tereta i samostalno se puni kada mu ponestane energije. Ovi roboti rade bez sudara zahvaljujući naprednom softveru, optimizirajući zadatke i rute za veću učinkovitost. Amazon Robotics, kao potpuno vlastiti odjel Amazon.com, osmišljen je kako bi zadovoljio rastuće zahtjeve potrošača u e-trgovini kroz poboljšane sustave za ispunjavanje narudžbi. Ovaj sustav omogućuje bržu, učinkovitiju i automatiziranu obradu narudžbi. Koriste se najnaprednija robotska tehnologija, uključujući autonomne mobilne robote, sofisticirani kontrolni softver, prepoznavanje jezika, upravljanje energijom, računalni vid, senzore dubine, strojno učenje, prepoznavanje objekata i semantičko razumijevanje naredbi. [17]

### 5.2.1 Sistem rada Kiva robota

U distribucijskom centru s primjenom Kiva sustava, automatski mobilni roboti trebaju biti dizajnirani kako bi izbjegli vrijeme neaktivnosti i osigurali da roboti obavljaju zadatke u cijelom radnom vremenu. Ovi roboti mogu imati tri različita stanja u vremenskom prozoru: ① obavljanje zadataka; ② oslobađanje za sljedeći krug nakon završetka zadatka; ③ čekanje za obavljanje zadatka. U ovoj optimizaciji, roboti imaju samo prva dva stanja u savršenom radnom okruženju, što su obavljanje zadataka i oslobađanje za sljedeći krug. Stoga, optimizacija raspodjele zadataka između više robota može učinkovito smanjiti troškove vremena u prvom koraku i poboljšati radnu učinkovitost cijelog sustava.

U Kiva sustavima, mobilni regali su raspoređeni u skladištu na redovan način kako bi ih roboti mogli pronaći prema njihovoj točnoj poziciji, koordinatama i bar kodu. Raspodjela zadataka između više robota optimizira se sveobuhvatno razmatranjem redoslijeda dolaska i položaja robota ispod mobilnog regala, kao i stanja svakog robota. Roboti se usklađuju s najbližim mobilnim regalima u sustavu prema Manhattanskoj udaljenosti između nealokiranog mobilnog regala i svih slobodnih AGV-ova, pri čemu se najbliži AGV s najmanjom Manhattanskom udaljenošću odabire za taj zadatak.

Na primjer, pretpostavimo da su narudžbe u vremenskom prozoru obrađene i da su mobilni regali za sakupljanje poredani redoslijedom, M1, M2, M3, M4, M5. Prvi mobilni regal, M1, bit će odabran za prvi slobodni robotski automobil. Ako postoje 5 automatskih robotskih vozila, R1, R2, R3, R4, R5, najbliže vozilo se odabire za obavljanje zadatka prema Manhattanskoj udaljenosti između M1 i robotskih vozila. Ako je R2 najbliže vozilo, bit će usklađeno s zadatkom M1. Kada više robotskih vozila imaju istu najmanju Manhattansku udaljenost s M1, kontrolni sustav odabire vozilo s najmanjim brojem za obavljanje trenutnog zadatka. Broj elemenata u skupu S2 će se ažurirati, a mobilni regali će se nastaviti raspodjeljivati. Svi mobilni regali bit će dodijeljeni zadacima nakon završetka posla. Ovaj model raspodjele zadataka u potpunosti uzima u obzir redoslijed mobilnih regala u zadatku, tj. prioritet polica, kao i trenutačno stanje svih robotskih vozila u sustavu. Raspodjela zadataka završava se na temelju najbliže Manhattanske udaljenosti između robotskih vozila i mobilnih regala, što omogućuje sustavu za sakupljanje da obavlja zadatke s kraćim vremenom i manjih udaljenostima. U nastavku je opisan način rada Kiva robota po koracima:

Korak 1: Kiva roboti primaju narudžbe i odlaze do pozicije mobilnog regala koji se odabire.

Korak 2: Kiva roboti prevoze mobilni regal s izvornog položaja do lokacije u redu i pripremaju ga za selekciju.

Korak 3: Narudžbe se zadovoljavaju kroz sakupljanje, pakiranje i ponovno provjeru od strane radnika.

Korak 4: Mobilni regal koji je obrađen vraća se na novu lokaciju za pohranu pomoću Kiva robota.

Kao što je prikazano na slici, optimizacija dizajna Kiva robota može postati stvarnost u sljedeća tri aspekta: [17]



*Figure 3 Four steps of Kiva robot complete the order task*

Slika 14. Prikaz obavljanja zadatka u 4 koraka [17]

### 5.2.2 Prednosti i nedostaci Kiva robota

Iako Kiva roboti donose brojne prednosti u skladišnom poslovanju, njihova implementacija nije bez izazova. Uvođenje Kiva robota u skladište zahtijeva značajna početna ulaganja. Troškovi nabave robota, instalacije sustava, obuke radnika i prilagodbe skladišta mogu biti visoki. Ova velika početna ulaganja mogu predstavljati značajnu prepreku za manje tvrtke ili one s ograničenim budžetom. Investicija u tehnologiju i infrastrukturu može biti teško opravdati bez jamstva povrata na ulaganje. Kiva sustav se oslanja na složenu tehnologiju koja uključuje napredne senzore, softver i robotske komponente. Tehnički problemi ili kvarovi u sustavu mogu uzrokovati značajne zastoje u skladištu, što može utjecati na cjelokupnu učinkovitost operacija. Također, potreba za stalnim održavanjem i servisiranjem robota može dodatno povećati troškove i složenost upravljanja sustavom. Iako Kiva roboti mogu optimizirati skladišni prostor, njihova upotreba zahtijeva specifičan dizajn skladišta. To često uključuje potrebu za specijaliziranim policama i prilagođenim infrastrukturnim rješenjima, što može biti skupo za implementaciju i prilagodbu. Promjene u dizajnu skladišta kako bi se zadovoljili zahtjevi Kiva sustava mogu dodatno povećati troškove i vrijeme potrebne za prilagodbu. Uvođenje Kiva robota zahtijeva obuku radnika za rad s novom tehnologijom i upravljanje automatiziranim sustavom. Ova obuka može biti skupa i vrijeme zahtjevna. Nedostatak kvalificiranih radnika s potrebnim vještinama može predstavljati izazov u implementaciji i održavanju sustava, što može usporiti proces prilagodbe i povećati troškove obuke.

Nadalje, suprotno nedostacima, korištenje Kiva robota može imati brojne pozitivne efekte u korist rada i produktivnosti skladišta. Njihova sposobnost da automatski transportiraju police sa skladištem do radnih stanica smanjuje potrebu za ljudskim hodanjem i fizičkim naporom. Ovo ubrzava proces sakupljanja narudžbi, čime se poboljšava ukupna brzina obrade narudžbi. Studije su pokazale da Kiva sustav može poboljšati učinkovitost sakupljanja narudžbi do 50% u usporedbi s tradicionalnim metodama. Automatizacija s Kiva robotima smanjuje potrebu za velikim brojem radnika u skladištu. To ne samo da smanjuje troškove rada, već također minimizira ljudske pogreške i poboljšava točnost narudžbi. Roboti preuzimaju fizičke zadatke kao što su premještanje i isporuka polica, čime oslobađaju radnike da se usmjere na složenije zadatke poput pregleda i pakiranja. Kiva roboti su dizajnirani da budu fleksibilni i prilagodljivi. Mogu se lako prilagoditi promjenama u rasporedu skladišta ili promjenama u vrstama proizvoda koji se skladište. Ova prilagodljivost omogućava skladištima da brzo reagiraju na promjene u potražnji i sezonskim varijacijama. Kiva roboti povećavaju sigurnost u skladištu smanjujući potrebu za ljudskim radom u opasnim područjima ili u blizini teških tereta. Automatizirani sustav također minimizira rizik od nesreća koje mogu nastati zbog umora ili pogrešaka ljudskih radnika. Kiva roboti omogućuju optimizaciju prostora u skladištu. Budući da roboti mogu raditi u uskim prolazima i visoko skladištiti police, skladišni prostor može biti iskorišten učinkovitije nego u tradicionalnim sustavima, što povećava kapacitet skladišta. [18]

## 6. Zaključak

U završnom radu na temu „Planiranje robotiziranih logističkih sustava“ analiziran je utjecaj robotizacije na moderne logističke procese i način na koji tehnologije oblikuju budućnost logistike. Kroz pregled osnovnih metoda i vrsta planiranja, kao i specifičnih primjena robotizacije u logističkim operacijama, razjasnili su se ključni aspekti i prednosti integracije naprednih tehnologija.

Rad je započeo s osnovama planiranja logističkih procesa, uključujući metode planiranja logističkih procesa, koje su od suštinske važnosti za optimizaciju resursa i poboljšanje učinkovitosti. Također su obrađeni različiti aspekti planiranja, uključujući planiranje kapaciteta i uspješnosti, što pomaže u prilagodbi logističkih operacija prema potrebama tržišta i zahtjevima kupaca.

Proučeni su specifični aspekti organizacije robotiziranih logističkih sustava, uključujući povijesni razvoj robotizacije, njene primjene u skladištima te u sustavima dostave. Različite vrste robotizacije, kao što su automatizirana vođena vozila, autonomni mobilni roboti i automatizirani robotski viljuškari, prikazale su kako ove tehnologije doprinose učinkovitosti i produktivnosti. Osim toga, razmotrene su suvremene tehnologije u dostavi, uključujući autonomne bespilotne letjelice i automatske kioske, koje unapređuju brzinu i preciznost dostave.

Kroz primjer primjene robotizacije u stvarnom svijetu, ilustrirano je kako se konkretne tehnologije koriste za poboljšanje logističkih operacija. Analizirani su kolaborativni roboti, paketkopteri te vizije budućnosti u logistici, s posebnim naglaskom na modernizaciju distribucijskih i sortirnih centara, kao i na dostavu na posljednjoj milji.

Na kraju, rad je obuhvatio i druge relevantne trendove u robotizaciji logistike, uključujući cloud softver, edge computing, umjetnu inteligenciju, blockchain tehnologiju, decentraliziranu organizaciju i samoupravljanje, autonomno upravljanje te nove profesije i infrastrukturu. Ovi trendovi ukazuju na kontinuirani razvoj i integraciju novih tehnologija koje će dodatno unaprijediti logističke sustave i omogućiti prilagodbu prema promjenjivim uvjetima tržišta.

Zaključno, planiranje robotiziranih logističkih sustava je ključno za modernizaciju logističkog sektora. Integracija naprednih tehnologija i robotike ne samo da poboljšava učinkovitost i produktivnost, već omogućuje i veću fleksibilnost u odgovoru na promjene tržišnih uvjeta. Daljnje istraživanje i razvoj u ovom području bit će ključni za postizanje optimalnih logističkih operacija i osiguranje konkurentne prednosti na globalnom tržištu.

## Literatura

- [1] Bojić J. *Postupci i metode planiranja logističkih procesa*, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, Zagreb, 2015
- [2] Hasnek D. *Planiranje kapaciteta logističkog sustava u proizvodnji*, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, Zagreb, 2023
- [3] Joosting JP. IFR reports AI-equipped robots fight labor shortages. *EENews Embedded*. 2024. Preuzeto s: <https://www.eenewseurope.com/en/ifr-reports-ai-equipped-robots-fight-labor-shortages/> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [4] Li, Ming, Milojević A., Handroos H., Robotics in Manufacturing—The Past and the Present. *Technical, Economic and Societal Effects of Manufacturing 4.0 Automation, Adaption and Manufacturing in Finland and Beyond*. Lappeenranta, Finland: 2024. pp. 85-95. Preuzeto s: [https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41280/2020\\_Book\\_TechnicalEconomicAndSocietalEf.pdf;sequence=1#page=107](https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41280/2020_Book_TechnicalEconomicAndSocietalEf.pdf;sequence=1#page=107) [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [5] Ovdienko O.V. *World Trends in Warehouse Logistics*. Disertacija. Logistic Department at National Aviation University in Ukraine
- [6] Jasprabhjit Mehami, Mauludin Nawli, Ray Y Zhong. Smart automated vehicles for manufacturing in the context of industry. *Journal of Engineering Research*. 2018, Preuzeto s: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918308205?ref=pdf\\_download&fr=R-R-2&rr=8b9765029d682482](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918308205?ref=pdf_download&fr=R-R-2&rr=8b9765029d682482) [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [7] Supplier C. Automated Vehicles Drive Change in Warehouse Work. *Connection Supplier*. 2018.. Preuzeto s: <https://connectorsupplier.com/automated-vehicles-drive-change-in-warehouse-work/> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [8] Feiyu J., Afaq M., Ripka B., Huda Q., Ahmad R. Vision- and Lidar-Based Autonomous Docking and Recharging of a Mobile Robot for Machine Tending in Autonomous Manufacturing Environments. *Advances in Intelligent Control and Engineering Applications*. 2023. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/19/10675> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [9] T. Muthuramalingam, M. Mohamed Rabik, D. Saravanakumar, K. Jaswanth. Sensor Integration-Based Approach for Automatic Fork Lift Trucks. *IEEE Sensors Journal*. 2018;18(2): 736-740 Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8119939> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]
- [10] Srinivas S.; Ramachandiran S.; Rajendran S. Autonomous robot-driven deliveries: A review of recent developments and future directions. *Transportation Research Part E: Logistics and*



*Transportation Review*. 2022;165. Preuzeto s:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554522002150> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[11] F. Li, O. Kunze. A Comparative Review of Air Drones (UAVs) and Delivery Bots(SUGVs) for Automated Last Mile Home Delivery. *Logistics*. 2023. 7(2) Preuzeto s:

<https://www.mdpi.com/2305-6290/7/2/21> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[12] S.R.R. Singireddy, T. U. Daim, Technology Roadmap: Drone Delivery – Amazon Prime Air. *Infrastructure and Technology Management*. 2018. pp. 387–412. Preuzeto s:

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68987-6\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68987-6_13) [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[13] N. T. Khanh Chi, L. Phong, The drone delivery services: An innovative application in an emerging economy. *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 2023;39(2) Preuzeto s:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2092521223000020> [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[14] J. S. Schaefer, M. A. Figliozzi, Spatial accessibility and equity analysis of Amazon parcel lockers facilities. *Elsevier*. 2021. Preuzeto s:

[https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1656&context=cengin\\_fac](https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1656&context=cengin_fac)

[Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[15] T. Bonkenburg, Robotics in Logistics. *DHL Trend Research*. 2016. Preuzeto s:

[https://www.thehive-network.com/wp-content/uploads/2017/03/DHL\\_RoboticsInLogistics.pdf](https://www.thehive-network.com/wp-content/uploads/2017/03/DHL_RoboticsInLogistics.pdf)

[Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[16] .E. Glistau, N. Isaias, Solutions and Trands in Logistics. *Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering*. 2019. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/profile/Norge-Coello-Machado-](https://www.researchgate.net/profile/Norge-Coello-Machado-2/publication/338133251_Solutions_and_trends_in_Logistics_40/links/5e0173d14585159aa495a9df/Solutions-and-trends-in-Logistics-40.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail)

[2/publication/338133251\\_Solutions\\_and\\_trends\\_in\\_Logistics\\_40/links/5e0173d14585159aa495a9df/Solutions-and-trends-in-Logistics-](https://www.researchgate.net/profile/Norge-Coello-Machado-2/publication/338133251_Solutions_and_trends_in_Logistics_40/links/5e0173d14585159aa495a9df/Solutions-and-trends-in-Logistics-40.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail)

[40.pdf?\\_sg%5B0%5D=started\\_experiment\\_milestone&origin=journalDetail](https://www.researchgate.net/profile/Norge-Coello-Machado-2/publication/338133251_Solutions_and_trends_in_Logistics_40/links/5e0173d14585159aa495a9df/Solutions-and-trends-in-Logistics-40.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail) [Pristupljeno: 1. kolovoza 2024.]

[17] J. Li, H. Liu, Design Optimization of Amazon Robotics. *Automation, Control and Intelligent Systems*. 2016;4(2): 48-52. Preuzeto s: <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/acis>

[Pristupljeno: 4. rujna 2024.]

[18] C. Corbato , M. Bharatheesha , J. Egmond, J. Ju , M. Wise, Integrating Different Levels of Automation: Lessons From Winning the Amazon Robotics Challenge 2016. *Transactions on Industrial Informatics*. 2018;11(14): 4916-4926. Preuzeto s:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8304784> [Pristupljeno: 4. rujna 2024.]

## Popis slika

<a href="#">Slika 1. Skica opće metode planiranja logistički procesa, [1]</a> .....	6
<a href="#">Slika 2. Skica metode planiranja logističkih procesa u funkciji distribucijskih kanala, [1]</a> .....	9
<a href="#">Slika 3. Skica metode planiranja logističkih procesa u funkciji opskrbnih lanaca, [1]</a> .....	11
<a href="#">Slika 4. Skica metode planiranja logističkih procesa u funkciji vremena, [1]</a> .....	13
<a href="#">Slika 5. Primjer automatiziranog vođenog vozila, [7]</a> .....	21
<a href="#">Slika 6. Husky robot opremljen s Lidar senzorom i Hikvision kamerom, [8]</a> .....	25
<a href="#">Slika 7. Dijelovi viljuškara, [9]</a> .....	27
<a href="#">Slika 8. Primjer drona tvrtke Amazon, [12]</a> .....	31
<a href="#">Slika 9. Prikaz ormarića tvrtke Amazon, [14]</a> .....	33
<a href="#">Slika 10. Prikaz autonomnog sigurnosnog robota, [15]</a> .....	35
<a href="#">Slika 11. Prikaz robotske ruke, [15]</a> .....	38
<a href="#">Slika 12. Prikaz DHL-ovog paketkoptera, [15]</a> .....	40
<a href="#">Slika 13. Vizija ciljanog načina rada sortirnog centra, [15]</a> .....	43

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

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

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

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_  
(ime i prezime, potpis)