

Autonomni mobilni roboti u pametnim skladištima

Tušek, Gabrijel

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:987416>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Gabrijel Tušek

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI U PAMETNIM SKLADIŠTIMA
Diplomski rad

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Gabrijel Tušek

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI U PAMETNIM SKLADIŠTIMA

Diplomski rad

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Gabrijel Tušek

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI U PAMETNIM SKLADIŠTIMA

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Luka Šumanovac, predsjednik
2. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, mentor
3. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, član

Osijek, 2023.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. ROBOTIKA	4
2.1. Razvoj mobilnih robota	8
3. UPORABA AMR-a U PAMETNIM SKLADIŠTIMA	12
3.1. Način rada mobilnih robota	15
3.1.1. <i>Navigacijski sustav</i>	17
3.1.2. <i>Detekcija prepreka</i>	20
3.2. Razlozi intenzivnijeg razvoja	22
3.3. Napredak robotske tehnologije	23
3.4. Razlika između AMR-a i AGV	24
4. RAZVOJ AUTONOMNIH MOBILNIH ROBOTA U REPUBLICI HRVATSKOJ	26
4.1. Gideon Brothers	26
5. PAMETNA SKLADIŠTA	28
5.1. SUSTAV CPS	30
5.2. SUSTAV WMS	32
5.3. RFID	35
5.4. PREDNOSTI PAMETNOG SKLADISTA	39
6. ZAKLJUČAK	40
7. POPIS LITERATURE	41
8. SAŽETAK	48
9. SUMMARY	49
10. POPIS TABLICA	50
11. POPIS SLIKA	51

1. UVOD

Skladišta i zalihe sastavni su dio opskrbnog lanca. Svim trgovinama u opskrbnom lancu upravlja se putem skladišta, koje može biti javno, privatno, obvezničko ili državno. Diljem svijeta razne tvrtke koriste različite metode upravljanja skladištem, bilo ručno ili automatizirano (Khan i sur. 2022.).

Prema navodima (Tompkins i sur. 2010.). skladište utječe na proces protoka materijala od dobavljača do krajnjih potrošača za gotovu robu, te do proizvodnje za sirovine. Zbog toga skladištu je posvećena posebna pozornost jer zahtjevi skladištenja se mijenjaju iz dana u dan, a tradicionalno skladištenje se promatra kao proces bez vrijednosti.

Operacije skladištenja uključuju različite aktivnosti poput prijevoza, skladištenja, uzlazne isporuke, izlazne isporuke, fizičkog broja zaliha, inspekcije kvalitete i pakiranja, a svaka od navedenih aktivnosti smatra se automatiziranom kako bi se postigla visoka učinkovitost u smislu suvišnih operacija i smanjenja vremena u izvođenju potrebnih aktivnosti u skladišnom poslovanju (Berg, 2007.).

U prošlosti skladištenja i prije pojave novijih tehnologija, organizacije su uzimale u obzir osnovne elemente skladištenja prije raspodjele budžeta, kao što su raspored skladišta, dio upravljanja prostorom, vrste materijala, broj zaposlenih. Nakon pojave novijih tehnologija skladištenja, mnoge su organizacije promijenile svoju strategiju poslovanja te počele koristiti novije tehnologije kako bi se smanjili troškovi i zahtjevnost rada (Kamali, 2019.).

Uporabom novijih tehnologija u skladištu troškovi bi se mogli smanjiti za 30 %, a gubitak zaliha mogao bi se smanjiti do 75 %, uz poboljšanje operacija kroz veću agilnost i učinkovitost (Alicke i sur. 2017.).

Iduća faza automatizacije skladišta omogućena je napretkom tehnologije. Osim napretka tehnologije, na korištenje robota u skladištima velik utjecaj imaju poslovne prilike koje noviju tehnologiju stavljaju u svoj prvi plan te takva tehnologija predstavlja adekvatno rješenje novim zahtjevima poslovanja (Vukelić, 2020.).

Prema navodima Majchrzak (2020.) autonomni mobilni roboti (AMR) predstavljaju relativno novu tehnologiju koja postepeno pronalazi svoje mjesto u skladišnoj industriji i ostalim industrijama.

Prema navodima Vukelić (2020.) skladišno poslovanje predstavlja neizostavni dio lanca opskrbe, te je zastupljeno u velikom broju njegovih karika. Povećanjem razine usluga i razvojem samog poslovanja koje skladišta pružaju klijentima, uvedene su nove modernije operacije. Većina operacija pogodna je za obavljanje određenom vrstom mehanizacije, a povezivanjem mehanizacije pomoću sustava upravljanja dobiva se automatizirani sustav. Glavni razlozi upotrebe automatiziranih sustava u skladištima su povećanje učinkovitosti, kvalitete i sigurnosti, smanjenja potreba za radnom snagom i smanjenje troškova proizvodnje.

Pomoću optimizacije skladišnih sustava i procesa omogućava se brz protok robe, te smanjenje troškova koji nastaju zbog izgradnje skladišnih kapaciteta i procesa skladištenja. Kraće vrijeme skladištenja rezultira manjim količinama robe u skladištu, a zbog toga i manjim troškovima skladišta (Garc, 2017.).

Brzi razvoj tehnologije intenzivno se pojavio u poljima logistike. Pametna skladišta postala su proizvod pametnih tehnologija, potaknuvši val transformacije skladišne industrije koja bi se u budućnosti mogla drastično promijeniti. Sustavi pametnih skladišta koji su opremljeni sa novijim skladišnim tehnologijama sve više privlače pozornost industrijskih i tehnoloških divova, a takav način skladištenja predstavlja rješenje za budućnost skladišnog razvoja (Zhen i Haolin, 2021.).

Fragapane i sur. (2021.) navode da je tehnologija rukovanja materijalima brzo napredovala. Jedan od velikih razvoja predstavlja evolucija automatiziranih vozila i autonomnih mobilnih robota.

Razvoj *AMR*-a (Autonomnih mobilnih robota) potaknula je potreba za većom fleksibilnošću, ne samo u navigacijskim sposobnostima nego i ostalim uslugama koje mogu pružiti. *AMR*-ovi mogu pružiti brojne usluge izvan transporta i operacija rukovanja materijalom, kao što su patroliranje i suradnja s operaterima (Le Ahn i Koster, 2006.).

Custodio i Machado (2020.) zaključili su da tehnologija napreduje alarmantnom brzinom te je teško predvidjeti kako će skladišta poslovati u budućnosti. Skladišta bi trebala sagledati vlastite ciljeve i odatle odabrati tehnologiju potrebnu za postizanje vlastitih ciljeva.

Korištenje automatizacije umjesto ručnog rada također će dati mogućnost zaposlenicima da provode vrijeme na aktivnostima koje nisu naporne ili ne inspirativne (Iqbal i sur., 2016.).

Automatizirani sustavi mogu raditi besprijekorno ako su programirani na ispravan način i ako se provodi pravilno održavanje (De Ryck i sur., 2020.).

Prihvatanje automatizacije ovisi o kulturi i naciji (Negrello i sur., 2020.). Kada se implementira nova tehnologija kao što je automatizacija, to također znači da se nova kultura implementira unutar organizacije.

2. ROBOTIKA

Moravec (2020.) robotiku navodi kao polje koje pokriva veliki broj tehnoloških znanosti, odnosno znanstveno polje robotike je vrlo opširno te se može proučavati kroz puno načina. Robotika se može teoretski proučiti i pomoću eksperimenata ostvariti određene rezultati ili se može specijalizirati određeno polje robotike, gdje se izrađuju programibilni strojevi koji uveliko mogu pomoći ljudima te olakšati ljudski posao.

Prema navodima Pakter (2021.) u svijetu se sve više koriste informacijske tehnologije koje imaju veliki utjecaj na rast, razvoj i napredak društva. Obaveze se najčešće rješavaju putem modernih tehnologija, a takve tehnologije napreduju i razvijaju se svakodnevno. Za ozbiljne tvrtke i poslovnice nužno je praćenje razvoja novijih tehnologija kako bih ostali konkurentni u poslu.

Roboti se najčešće koriste na mjestima gdje će efikasnije napraviti posao te smanjiti opasnost za čovjeka. Roboti se uveliko koriste na opasnim mjestima, a neki od njih su : podvodni roboti, roboti za razminiranje, robotske letjelice (Novaković, 2016.).

Roboti se obično dijele u nekoliko vrsta, a neke od njih su (Daley, 2022.):

- Unaprijed programirani roboti – takvi roboti rade u okruženjima gdje su zaduženi za obavljanje jednostavnih i monotonih zadataka. Mehanička ruka predstavlja jedan od primjera unaprijed programiranih robota prikazana na Slici 1.



Slika 1. Unaprijed programirani robot

(Izvor: Link 1., 2022.)

- Humanoidni robot – roboti koji izgledaju poput ljudi i mogu oponašati ljudske aktivnosti poput trčanja, nošenja objekata, plivanja (Slika 2.). Neki od humanoidnih robota mogu oponašati ljudske emocije.



Slika 2. Humanoidni robot Ameca

(Izvor: Link 2., 2022.)

- Autonomni robot – roboti koji svoj posao obavljaju ne ovisno o ljudskim operaterima. Koriste svoje senzore kako bi prepoznali ili upoznali okolinu te donijeli najbolje odluke za obavljanje zadataka za koje su namijenjeni (Slika 3.).



Slika 3. Autonomni mobilni robot

(Izvor: Link 3., 2019.)

- Teleoperativni robot – predstavljaju poluautomatske robote koji koriste bežičnu mrežu kako bi čovjek koji se nalazi u neposrednoj blizini mogao upravljati njima (Slika 4.). Koriste se u situacijama koje su rizične za čovjeka.



Slika 4. Teleoperativni robot za pronalaženje mina

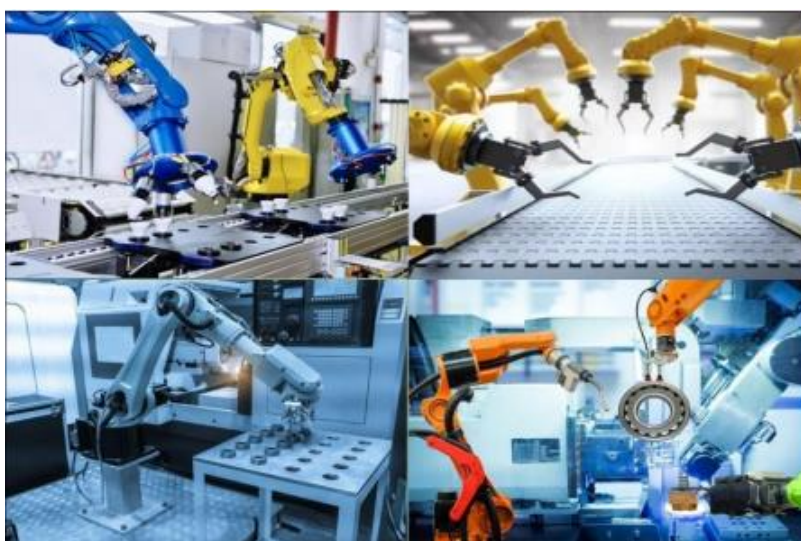
(Izvor: Link 4., 2014.)

- Augmentacijski robot – robot koji se koristi kako bi se poboljšale sposobnosti čovjeka ili zamijenile ukoliko su izgubljene uslijed ozljede.

Roboti mogu pomoći ljudima u svakodnevnom životu na razne načine, odnosno može se reći da su roboti postali pouzdan alat u svakodnevnom radu. Primjena robota zbog njihove preciznosti i koristi ljudima porasla je gotovo u svim industrijama. Robot se može lako nositi s teškim i otrovnim tvarima te zadacima koji zahtijevaju veći napor ili se učestalo ponavljaju. Roboti pomažu u tvornicama da bi se izbjegle mnoge nesreće, a isto tako da se uštedi novac i vrijeme (Hossain, 2022.).

Prema navodima (Svoboda, 2020.) robotika pokriva mnoga područja, a neka od njih su: strojarstvo, elektrotehnika, računalno inženjerstvo, softversko inženjerstvo i informacijsko inženjerstvo. Roboti su prvo stvoreni za obavljanje opasnih zadataka, a zatim da bi se olakšao posao ljudima. Roboti se široko koriste u proizvodnji, montaži, pakiranju i ambalaži, rudarstvu, istraživanju zemlje, transportu i kirurgiji.

Prema navodima (Hossain, 2022.) roboti se mogu koristiti za precizno obavljanje monotonih i ponavljajućih zadataka pod vodstvom i nadzorom čovjeka. Kao alternativa ljudima, roboti mogu precizno obaviti teške i opasne zadatke te na taj način spasiti ljude od ozljeda.



Slika 5. Roboti korišteni u industriji proizvodnje

(Izvor: Link 5., 2022.)



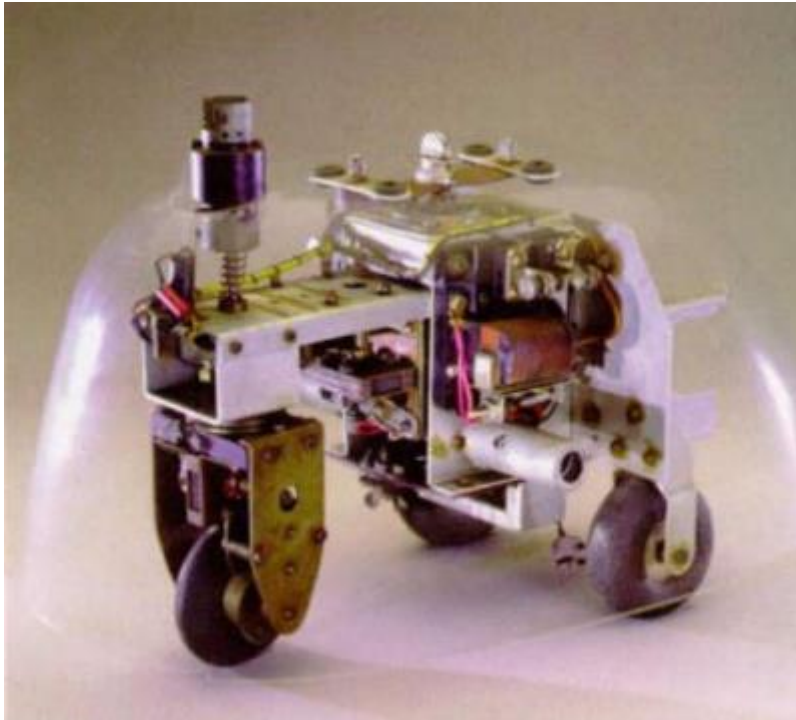
Slika 6. Poljoprivredni robot za kultivaciju

(Izvor: Link 6., 2021.)

2.1. Razvoj mobilnih robota

Roboti korišteni za industrijske potrebe uvedeni su 1961. Kako bi se obavili sve složeniji zadaci. Roboti su korišteni u teškim i ponavljajućim zadacima poput: zavarivanja, bojanja, premještanja ili rezanja s nevjerojatnom preciznošću (McMorris, 2019.).

Goodwin, 2020. navodi da je William Gray Walter razvio prvi autonomni mobilni robot (AMR) kasnih 1940-ih (Slika 7.). Napravljena su dva uspješna prototipa, *Elsie* i *Elmer*. Roboti su korišteni u istraživanjima za napredak neurofiziologije. Uključili su senzor svjetla i senzor neravnina s vakumskom cijevi za simulaciju dva neurona koji su povezani. Roboti u kasnijim istraživanjima uključivali su i senzor zvuka. Mogli su se kretati po okolini i učiti o okolini u kojoj se nalaze. Nakon istraživanja uspješno su uspjeli pronaći stanicu za punjenje.



Slika 7. Machine Speculatrix - prvi tip robota

(Izvor: Link 7., 2012.)

Isti autor također navodi da su se autonomni mobilni roboti posljednjih 30 godina drastično promijenili (Slika 8.). Današnji *AMR*-ovi mogu obavljati različite vrste zadataka i pomažu pri smanjenju troškova u mnogim sektorima gospodarstva. Mogu raditi vikende i duge sate, pomažući smanjiti opterećenje na radnika tijekom vrhunca proizvodnje bez zapošljavanja dodatnih radnika u tvornicama i skladištima.



Slika 8. Moderni AMR-ovi tvrtke inVia

(Izvor: Link 8., 2020.)

Prema navodima Bechtsis i sur. (2017.) 1987. godine izdan je prvi generički AMR patent. O tom patentu se raspravlja uglavnom u poljima informacijske tehnologije i robotike, ali pojavio se i u logističkim primjenama te se očekuje da će se njegov značaj značajno povećati u bliskoj budućnosti. Procjenjuje se da je više od 13 000 *AGV (Automated Guided Vehicles)* i *AMR* sustava globalno instalirano.

Razvoj mobilnih robota može se podijeliti u tri generacije (Petrinec, 2021.):

- Roboti prve generacije – automatski ponavljaju pokret koji je prethodno zadan, najviše se koriste u tvorničkim pogonima, upravljački se sustav jednostavno prilagođava ručnim operacijama.



Slika 9. Roboti prve generacije

(Izvor: Link 9., 2016.)

- Roboti druge generacije – imaju veliku sposobnost snalaženja u nepredvidljivim okolnostima radnog prostora, imaju ugrađene senzore pomoću kojih dobivaju informacije, snalaženje i postupci u radnom prostori su programirani. Koriste se pri bojanju i montažnim operacijama.



Slika 10. Roboti druge generacije

(Izvor: Link 10., 2020.)

- Roboti treće generacije – opremljeni su računalima i savršenim programima, imaju nekoliko raznih senzora i umjetnu inteligenciju. Takvi roboti sposobni su prepoznati okolinu, analizirati svoje učine i učiti iz svojih grešaka. Treća generacija robota radi samostalno i inteligentno mijenja svoj način rada ovisno o uvjetima kako bi se prilagodili istima.



Slika 11. Roboti treće generacije

(Izvor: Link 11., 2023.)

3. UPORABA AMR-a U PAMETNIM SKLADIŠTIMA

Autonomni mobilni roboti (Slika 12.) predstavljaju noviju i napredniju vrstu AGV-a (*Automated guided vehicles*). Puno su sofisticiraniji i učinkovitiji. Brži su lakši za postavljanje i pametniji. Oni predstavljaju oblik AGV-a, a mogu raditi bez ikakve prateće infrastrukture poput precizno lociranih laserskih meta, žica ili magneta ugrađenih u pod. AMR-ovi imaju mogućnost mapiranja i izbjegavanja prepreka sa sučeljem čovjek-robot. Građeni su od snažnih laserskih senzora koji rade na principu umjetne inteligencije. AMR-ovi posjeduju i napredne mogućnosti poput praćenja određene osobe kamo god je krenula. Takvi noviji sustavi su

isplativi za buduća proširenja. Neke od organizacija koje nude AMR rješenja na tržištu su : Veridian, Fetch Robotics, AGVNetworks i Quicktron (Dhaiwal, 2020.).

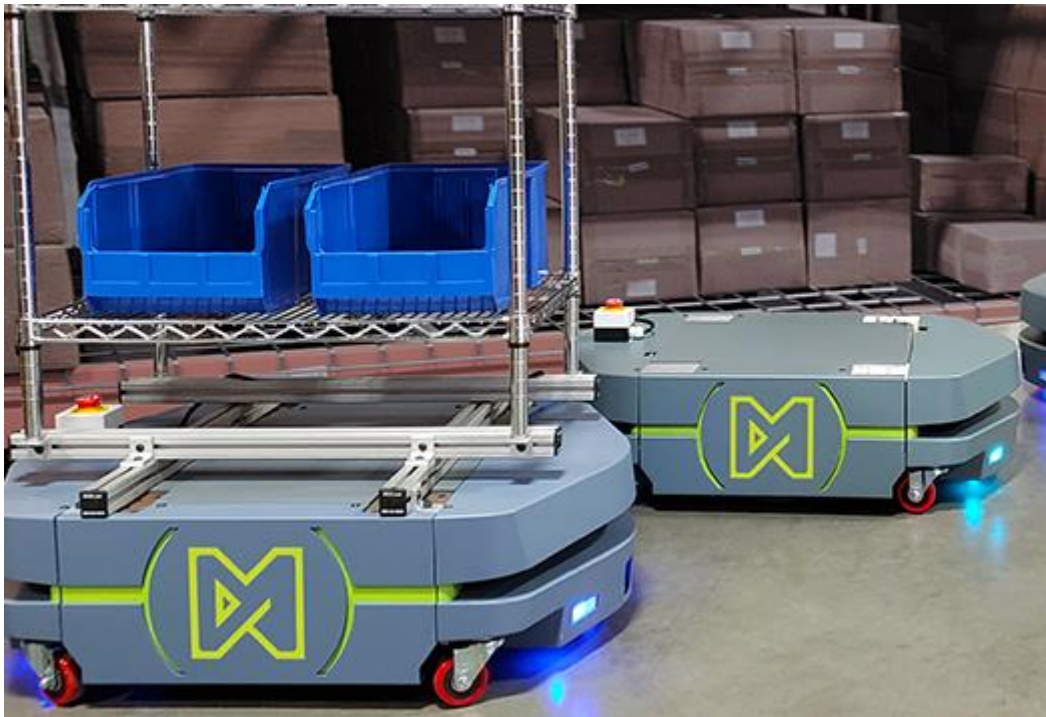
Autonomni mobilni roboti (*Autonomous Mobile Robots*) kao i što im sam naziv govori predstavljaju samoupravljačke robote, koji se nude u raznim oblicima i opcijama s puno različitih funkcionalnosti ovisno o potrebama klijenta, autonomni mobilni roboti posjeduju mogućnost samostalnog skeniranja objekta te navigaciju u skladištu kroz mape kojima obilaze razne prepreke pomoću lasera i 3D kamera. Autonomni roboti izračunavaju najučinkovitije rute za putovanje kroz skladište te na najbrži način dolaze do proizvoda te se vraćaju na stanicu za punjenje baterija (Bajivić, 2021.)



Slika 12. Prenošenje palete korištenjem autonomnih mobilnih robota

(Izvor: Link 12., 2019.)

Klasični komercijalni roboti posjeduju jedan od velikih nedostataka, a to je nedostatak mobilnosti. Nasuprot tome, mobilni roboti uvedeni su kako bi mogli putovati kroz pogon te na taj način fleksibilno pomogli u proizvodnim procesima. Fiksni roboti ili robotski manipulatori obično rade u zonama gdje ljudi ne mogu proći. Takvi roboti nisu razvijeni iz razloga mobilnosti, ali zbog svoje autonomije njihova sposobnost održavanja osjećaja položaja i navigacije bez ljudske ruke je veoma važna (Alatise i Hancke, 2020.)



Slika 13. Uporaba AMR-ova u skladištu

(Izvor: Link 13., 2020.)

Provedene aktivnosti karakteriziraju i dijele AMR-ove u tri glavne skupine. Oni pružaju:

- 1.rukovanje materijalom (dohvaćanje, premještanje, transport, sortiranje itd.),
- 2.suradničke i interaktivne aktivnosti i
3. aktivnosti pune usluge.

Dolaze sa sljedećim atributima (Indri i sur., 2019):

- Rad platforme: pružanje platforme za proširenje *AMR*-ovih sposobnosti i mogućnosti primjene izvan uobičajenih aktivnosti rukovanja materijalom.
- Suradnička operacija: rad zajedno s ljudima ili drugim *AMR*-ovima u roju.
- Jednostavnost integracije: integracija brzih i isplativih *AMR*-ova u tvornicu ili drugi pogon.
- Skalabilnost: povećanje ili smanjenje broja *AMR*-ova bez ometanja strukturnim promjenama.

- Robusnost: pruža otpornost, tj. sustave koji se mogu oporaviti nakon kvara.

3.1. Način rada mobilnih robota

Chen i sur. (2013.) navode da sve konfiguracije i postavke mobilnih robota izvode se pomoću web sučelja. Svako sučelje je različito ovisno o potrebama uređaja. Jezgru autonomnog mobilnog robota predstavlja navigacijski sustav. Cilj navigacijskog sustava je isplanirati rutu od točke A (početne točke) do točke B (odredišne točke). Ruta i navigacija robota odvija se pomoću naprednog navigacijskog sustava koji se sastoji od nekoliko dijelova (Slika 14.).



Slika 14. Mobilni robot MiR100



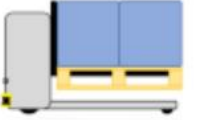


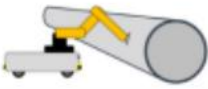
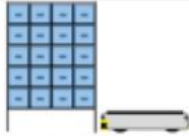


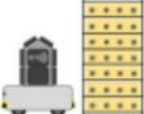





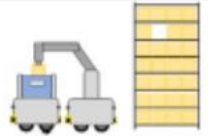







(Izvor: Link 14., 2022.)

Autonomija *AMR*-a podrazumijeva kontinuirano donošenje odluka o tome kako će se ponašati u radnom okruženju u skladu s pravilima, propisima i ograničenjima. Izazov za *AMR* nalazi se u odsutnosti ljudskog nadzornika koji prepoznaje granice, te zbog toga *AMR* mora samostalno nadzirati svoje vlastito stanje, uočiti potencijalne greške sustava i pravilno reagirati na njih (Fragapane, 2021.).

AMR-ov hardver i upravljački sustav omogućuju napredne mogućnosti za autonomni rad, ne samo za navigaciju i prepoznavanje objekata nego i za manipulaciju objektima u nestrukturiranim i dinamičnim okruženjima (Hernandez i sur., 2018.).

AMR-ovi u skladištima surađuju s operaterima u komisioniranju narudžbi. *AMR*-ovi nose nekoliko manjih kontejnera unutar područja za branje i zaustavljaju se gdje treba biti izabran sljedeći artikl. Nakon toga samostalno odlaze na sljedeće mjesto. Kada se svi artikli u narudžbi koja je zadana prikupe, *AMR* samostalno putuje u područje pakiranja i konsolidacije, gdje dolazi do pražnjenja te se nakon toga ponovo dodjeljuje novi skup narudžbi (Meller i sur., 2018.).

AMR-ova snaga posebno se iskazuje u okruženjima koje se sastoji od uskih prolaza i okruženjima s puno prometa poput velikih skladišta i bolnica. *AMR*-ovi imaju veći pristup za gotovo sve odjele i može se koristiti za kritične i pravodobne isporuke lijekova ili radioaktivnih terapijskih i dijagnostičkih lijekova čija točna doza brzo otpada. Osim zadataka transporta, mogu pružiti usluge poput dezinfekcije prostorije, telemedicine ili pomoći pri vođenju (Fragapane i sur., 2020.).

	Upravljanje materijalom	Suradnja i interakcija	Puna usluga
Proizvodnja	 Vučenje, vlak  Robot sa nosećim policama  Robot sa opremom za podizanje  Robot sa pokretnom trakom	 Kolaborativni robot	 Robotska ruka sa opremom za noževe vjetrenjača
Skладиštenje	 Robot za ispunjavanje narudžbi u sustavu za isporuku  Robot za uzimanje  Robot za sortiranje  Robot za lokalizaciju i inventar  Robot u "puzzle-based" sustavu skladištenja  Robot u skladištima autonomnih vozila	 Kolaborativni robot za dohvaćanje  Robot za nadzor  Kolaborativni robot za odabir narudžbi	 Robot za dohvaćanje i uzimanje
Intralogističko okruženje	 Robot za siguran transport lijekova u bolnicama  Robot za nošenje stvari u hotelima  Robot korišten u kontejnerskim terminalima  Robot za auta na parkirnim prostorima	 Robot za vođenje pacijenata u bolnicama  Robot s uređajem za teleprisutnost	 Robot za dezinfekciju bolnica

Slika 15. Vrste AMR-ova i primjeri primjene

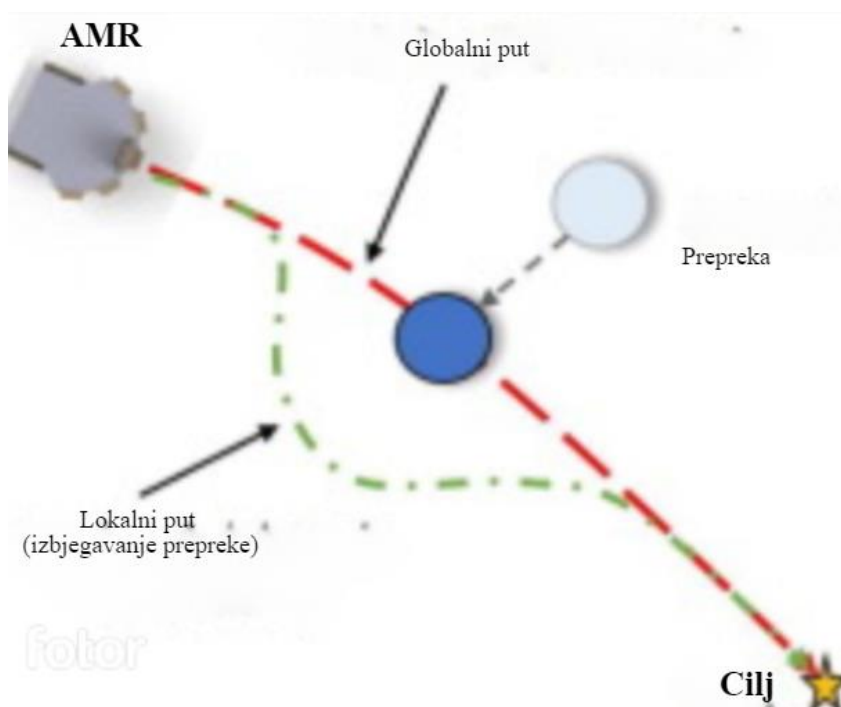
(Izvor: Link 15., 2021.)

3.1.1. Navigacijski sustav

Planiranje putanje ključni je zadatak u AMR navigacijskom sustavu koji od robota zahtjeva pronalaženje optimalne putanje kretanja na temelju željenih rezultata kao što su najkraća ruta, najkraće vrijeme, najmanja potrošnja energije. Problemi pri planiranju rute mogu se podijeliti

u dvije kategorije prema vrsti informacija i okolišu; planiranje globalnog puta i planiranje lokalnog puta (Ahmad i Loganathan, 2023.).

Isti autori navode da planiranje globalnog puta zahtjeva potpuno poznavanje okoline u kojoj se robot nalazi i najbolje je da je okolina statična. Globalni put obično se generira offline prije nego što robot započne navigaciju. Planiranje lokalnog puta ne zahtjeva poznavanje okoliša, a obično se poziva online na temelju podataka ugrađenih senzora. Korištenje lokalnog puta preporučuje se u dinamičnim i nepoznatim područjima i okruženjima. Pronalaženje najbolje rute predstavlja najvažniju značajku AMR-ova odnosno sposobnost navigacije bez smetnji generiranjem novog lokalnog puta bez opasnosti kada se otkrije prethodno nepredviđena prepreka i preusmjeravanje kako bi se osiguralo da su promjene u performansama minimalizirane.



Slika 16. Sustav izbjegavanja prepreka

(Izvor: Link 16., 2023.)

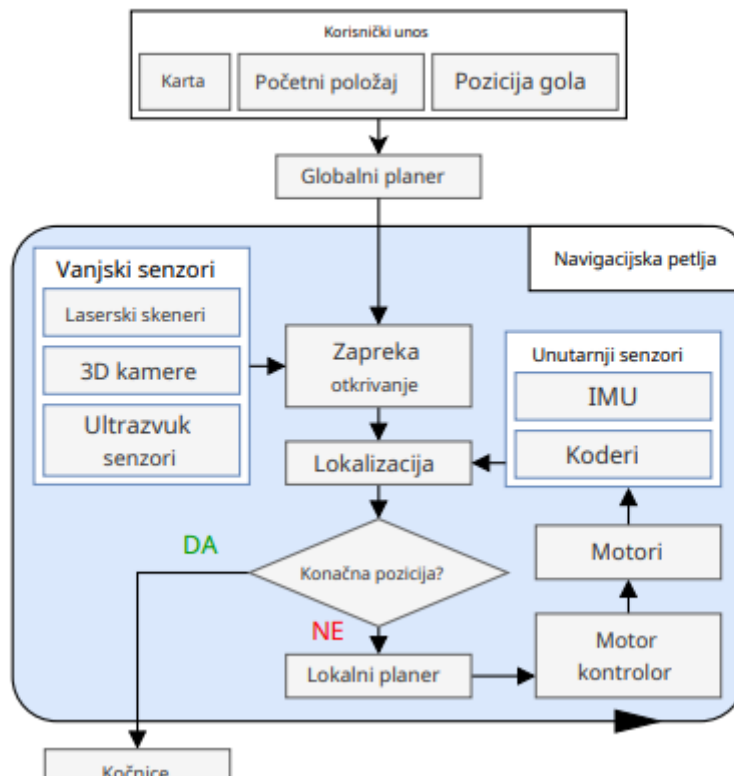
Tehnike planiranja putanje AMR-ova mogu kategorizirati u dvije skupine, a to su klasične i heurističke. Klasične metode obično su računalno intenzivnije, ali pokazalo se da su manje

učinkovite u dinamičnim okruženjima dok su heurističke metode otpornije na nesigurnost u prostoru pretraživanja.

Prema navodima Spencer, (2018.). AMR-ovi moraju biti u mogućnosti lokalizirati se unutar svojih dalekosežnih granica, kao i planirati putanje kroz zagušena područja posebnu u radu među ljudima, otkrivati i izbjegavati prepreke. Isti senzori koji AMR-ovima daju mogućnost samolociranja mogu otkriti prepreku i prijaviti pojavu i lokaciju prepreke koju AMR mora savladati. AMR-ovi za lokalizaciju koriste tehnologiju poznatu pod nazivom simultana lokalizacija i mapiranje (SLAM), uvedenu u akademskim laboratorijima 1980-ih i 1990-ih.

Kako bi navigacijski sustav pronašao rutu, potrebni su mu inicijalizacijski podaci prema kojima će planirati rutu. Korisnik upisuje podatke gdje robot treba stići. Međutim kako bih mobilni robot planirao rutu potrebno je poznavati prostor u kojem se kreće i svoju trenutnu poziciju. Za orijentaciju u prostoru koristi se virtualna karta koja se pohranjuje u memoriji robota i sadrži podatke o zidovima i preprekama. Nakon što se napravi virtualna karta, u nju se mogu dodavati točke kroz koje će se robot kretati. Robot kada dobije sve podatke za početak planiranja rute, sam robot počinje planirati rutu odnosno sistem koji je zadužen za globalni sustav planiranja. Ukoliko se u okruženju robota pojavi nova prepreka koja nije zabilježena na virtualnoj mapi, globalni sustav planiranje ne zna za prepreku i planira putovanje unatoč prepreci. Ukoliko robot ne može izvršiti putovanje prekida rad s porukom o pogrešci (Hercik i sur., 2022.).

Lokalni sustav planiranja radi u kontinuiranom ciklusu tijekom rada robota. Cilj ovog sustava je reagirati na prepreke u neposrednoj blizini robota koje su detektirane pomoću senzora, a nisu zabilježene na virtualnoj mapi. Ukoliko se prepreka nalazi izvan dometa senzora, sustav ju ne uzima u obzir (Hercik i sur., 2022.).



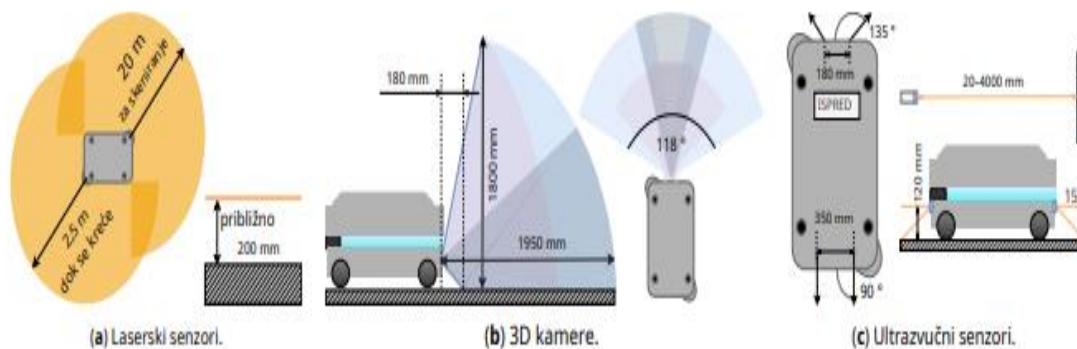
Slika 17. Princip rada navigacije autonomnih mobilnih robota

(Izvor: Link 17., 2021.)

3.1.2. Detekcija prepreka

Prema navodima Hercik i sur. (2022.) sustav za detekciju prepreka mora biti stalno aktivan. Glavna svrha ovog sustava je otkrivanje prepreka koje se nalaze oko robota. Informacije o trenutnoj lokaciji okolnih prepreka također se koristi i za određivanje trenutne pozicije mobilnog robota na karti ili prilikom postavljanja mobilnog robota na kartu. Prepreke se otkrivaju pomoću nekoliko senzora, a to su:

- Laserski senzori
- Trodimenzionalne kamere
- Ultrazvučni senzori



Slika 18. Sustav detekcije prepreka

(Izvor: Link 18., 2021.)

Autonomni mobilni roboti koriste karte skladišta kako bi se snašli, ali također koriste i karte koje uključuju samo prepreke koje mogu biti stalne ili polutrajne. Primarni navigacijski senzor koji koristi većina robota naziva se LiDAR (*Light Detection and Ranging*), predstavlja laser koji može otkriti objekte na udaljenosti i do nekoliko desetaka metara, obično s širokim vidnim poljem. LiDAR nudi velik domet i vrlo visoku točnost, ali većina AMR-ova radi samo u jednoj fiksnoj ravnini, što znači da može vidjeti samo određeni dio otprilike u visini čovjekovog koljena, ali ništa ispod ili iznad toga. Vrlo niske ili visoke prepreke mogu predstavljati problem i rizik za AMR-ove koji koriste LiDAR za izbjegavanje prepreka (Pidemont, 2019.).

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) sustav navigacije ekvivalent je radarskih tehnologija za vidljivi spektar. LiDAR emitira brze svjetlosne impulse na okolinu ili objekt, a potom mjeri vrijeme potrebno da se svjetlost vrati do uređaja (Slika 20.). LiDAR senzori nude mogućnost detekcije srednjeg do dugog dometa, do 250 metara. Sustav radi pouzdano u teškim industrijskim okruženjima i/ili svjetlosnim uvjetima (Rigoni, 2022.).



Slika 19. Navigacija u skladištu s navigacijskim skenerima LiDAR

(Izvor: Link 19., 2020.)

Poremećaji u tijeku rada opskrbnog lanca mogu rezultirati velikim gubitcima u zastoju, produktivnosti i ukupnoj konkurentskoj prednosti. Ovakvi izazovi rješavaju se ulaganjem u automatizaciju. Ključno je osigurati da ulaganje u automatizaciju bude opremljeno za prikupljanje podataka potrebnih za donošenje odluka koje štede vrijeme. Takve tehnologije dovode do poboljšanja, a istodobno i osiguranja povrata ulaganja kroz određeno vrijeme.

AMR-ovi prije samog izbjegavanja prepreka moraju prepoznati prepreku te donijeti ispravnu odluku što će dalje učiniti. Za prepreke koje se ne pomiču to ne predstavlja problem, ali kada AMR detektira pokretnu prepreku poput viličara, problem postaje veći jer ukoliko se AMR odnosi prema pokretnoj prepenci na klasičan način može doći do sudara, zbog toga robot mora razumjeti kretanje viličara, inteligentno predvidjeti njegovo kretanje kako bi ga učinkovito izbjegao. (Pidemont, 2019.).

3.2. Razlozi intenzivnijeg razvoja

RoboticsBiz (2020.) navodi da zbog rasta tržišta potražnja za kvalitetnom radnom snagom je sve veća, ali njezina dostupnost sve manja. Predviđanja rasta tržišta maloprodaje u Europi i SAD-u su po stopi od 10 % godišnje, a u Aziji i veće. Takav rast utječe na potražnju radne snage i u logistici zbog činjenice da najveći dio otpada na online trgovinu koja zahtjeva više

radne snage po prodajnoj jedinici od maloprodaje. Online trgovine zahtijevaju izdavanje, pakiranje, otpremu i dostavu na adresu svakog kupca.

Prema navodima Gideon Brothers (2019.) manjak radne snage nije jedini problem. Dodatni problem predstavlja velika fluktuacija zaposlenika. Zbog poslova u logistici koji su uglavnom fizički zahtjevni nisu dovoljno dobri zaposlenicima te velik broj zaposlenika je u potrazi za manje zahtjevnim poslovima. Za poduzeća to predstavlja problem te ih dodatno opterećuje.

3.3. Napredak robotske tehnologije

Nichols (2020.) navodi da je polje robotike napredovalo iz četiri glavna razloga :

1. Pad cijena senzora
2. Brza izrada prototipa
3. Usklađivanje različitih tehnologija
4. Robotski operativni sustavi

Prema navodima Vukelić, (2020.) potražnja za mobilnim računarstvom bila je blagodat za razvoj robotike, što je dovelo da sniženja cijena i brzog napretka senzorske tehnologije. Akcelerometri su koštali stotine dolara, ali danas se koriste pametni telefoni koji mogu mjeriti ubrzanje, snimiti video zapis, odrediti položaj te se mogu povezati s drugim uređajima. Do 2025. bit će povezano 100 milijardi uređaja koji generiraju prihod od 10 bilijuna dolara. Senzori koji zaprimaju podatke te ih prosljeđuju postali su jeftini što dovodi do velikog razvoja robotike.

AMR-ovi su obično opremljeni s širokim spektrom malih, jeftinih i energetski učinkovitih senzorskih tehnologija koji daju ulazne podatke za autonomnu navigaciju. LiDAR skener, 3D kamere, akcelerometri, žiroskopi i enkoderni kotača, koji pružaju informacije o položajima kotača za izračunavanje udaljenosti koju je robot prešao ili skrenuo, te skupljaju i prenose velike količine podataka o AMR-ovom neposrednom okruženju (De Silva i sur., 2018.).

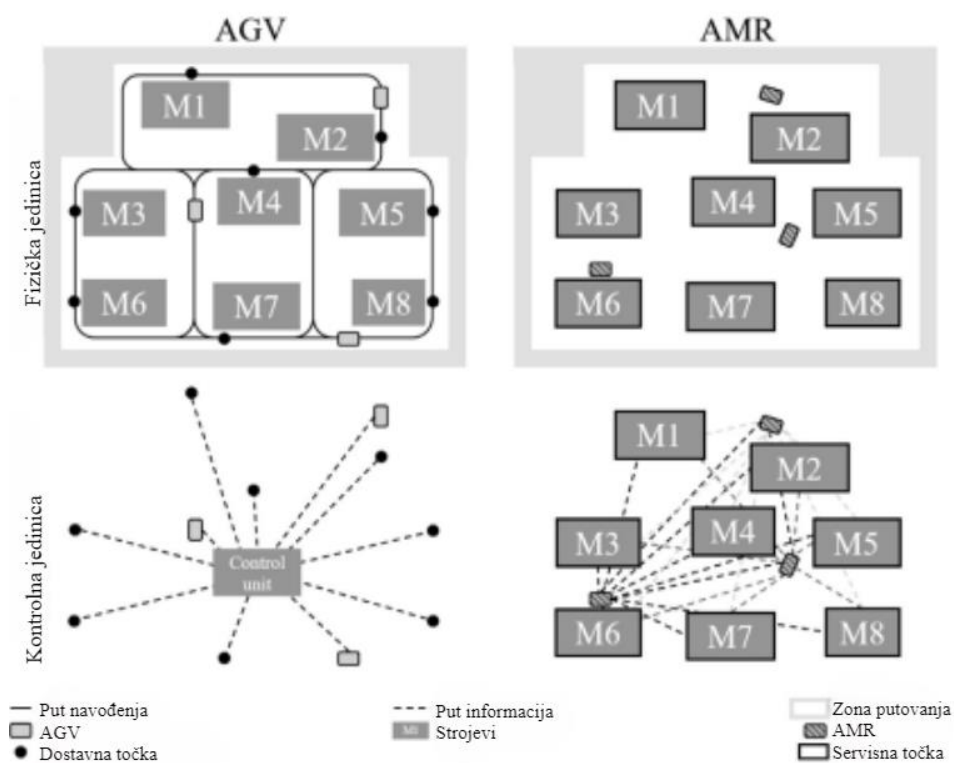
Te su tehnologije postale popularne zbog svoje jednostavne dinamičke upotrebe i brzog prikaza rezultata. U usporedbi s AGV-ima, AMR-ovi nisu 'slijepi', već potpuno prepoznaju okoliš. To utječe na odluke o izboru putanje navođenja, predviđanju i izbjegavanju sudara i zastoja te

upravljanju kvarovima. Osjećaj okoliša omogućuje AMR-u da pomaže, surađuje i komunicira s ljudima i strojevima, što znači donošenje više odluka (De Silva i sur., 2018.).

Olakšane razvojem hardvera, tehnike umjetne inteligencije primjenjuju se za podršku AMR-ovima u navigaciji i pružanju usluga. AMR-ovi upravljaju autonomno u dinamičnom i nepredvidivom okruženju. Tehnike umjetne inteligencije poput sustava vida i strojnog učenja omogućuju prepoznavanje i klasifikaciju prepreka (Dias, 2018.).

3.4. Razlika između AMR-a i AGV

U sustavu AGV središnja jedinica preuzima kontrole odluke poput usmjeravanja i otpreme za sve AGV-ove, dok kod AMR sustava mogu komunicirati i pregovarati s drugim resursima poput strojeva i sustava kao što je planiranje resursa poduzeća ili softver za procjenu i kontrolu rukovanja materijalom, te sami donose odluke. Pomoću toga smanjuje se potreba za vanjskom kontrolom (Furmans i Gue., 2018.)



Slika 20. AVG i AMR kontrola

(Izvor: Link 20., 2021.)

Sve veća sposobnost AMR-ova da preuzmu zadatke i aktivnosti te činjenica da AMR-ovi obavljaju navigaciju, rade i komuniciraju s ljudima i strojevima drugačije nego AGV-ovi zahtijevaju novu strukturu odlučivanja. Menadžeri trebaju smjernice tijekom donošenja odluka kako bi postigli optimalni učinak. Na primjer, na razini strateške odluke bitno je definirati stupanj decentralizacije kontrole aktivnosti rukovanja pomoćnim materijalima za AMR-ove u proizvodnji automobila. Na taktičkoj razini u skladištima moraju se odrediti radne zone za suradničke AMR-ove. Na operativnoj razini u bolnicama moraju se planirati sigurni putevi putovanja protiv AMR-a s niskim rizikom od zaraze (Fragapane i sur., 2021.).

Glavna razlika između automatski vođenih vozila i autonomnih mobilnih robota je ta da vođeno vozilo slijedi fiksne rute, obično su te rute magnetno ugrađene u tlo ili duž žica. Automatski vođeno vozilo koristi jednostavne senzore kako bi uočilo prepreke, ali nije dovoljno pametno da ih zaobiđe. To su vozila bez puno ugrađene inteligencije te se mogu pridržavati samo jednostavnih naredbi. Takva vozila teško se prilagođavaju promjenama, ukoliko se želi proširiti radno područje to je veoma skupo i dugotrajno kod automatski vođenih vozila (Edwards, 2021.).

Tablica 1. Usporedba AMR i AGV sustava

	AGV	AMR
NAVIGACIJA	Vode se pomoću magnetskih traka ili žica instaliranih na ili ispod poda	Stvara i sprema kartu objekta te ju koristi kod dinamičkog izračunavanja najbolje rute od A do B u bilo kojem trenutku
RAZVOJ	Zahtijevaju ugradnju navigacijskih vodiča, a ponekad i znatnu obnovu objekta u kojem se nalaze	Minimalni ili nikakvi zahtjevi prema promjeni objekta

FLEKSIBILNOST	Mijenjanje tijekom rada zahtjeva ponavljanje procesa implementacije	Dinamički planira najkraći put, ruta rada može se promijeniti jednim klikom miša
BRZINA REGERIRANJA	Ograničeni za prilagodbu promjenjivom okruženju ili promjenjivom tijeku rada	Automatski će izbjeći sve prepreke i blokirane staze kako bi pronašli najbolji put do sljedeće točke
CIJENA	Zahtijevaju promjenu infrastrukture što košta vrijeme, novac i gubi se produktivnost	Ne zahtijevaju nikakve promjene ni dodatne troškove

(Izvor: Petrinec, 2021.)

4. RAZVOJ AUTONOMNIH MOBILNIH ROBOTA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Skoro svi tehnički fakulteti u Hrvatskoj uveli su kolegije koji se bave primjenom robota u procesima proizvodnje, a samo neki koji se bave razvojem robota. Kao primjeri tvrtki koje se bave razvojem na području robotike treba istaknuti: INETEC (Institute for Nuclear TEChnology) iz Zagreba i HSTEC (High Speed technique) iz Zadra (Nikolić, 2015.).

Gideon Brothers peti je proizvođač autonomnih robota za prijenos tereta na svijetu i treća najinovativnija takva kompanija na zemlji (Ivezić, 2021.).

4.1. Gideon Brothers

Gideon Brothers (2020.) navodi da je tvrtka osnovana 2017. godine u Osijeku te je započela kao „start-up“ na području robotike i umjetne inteligencije. Tvrtka se danas uz Osijek, nalazi i na lokaciji Zagreba, gdje je oformljen i testni centar. Jedna od velikih pomoću u poslovanju tvrtke bili su investitori od kojih je jedan od prvih investitora tvrtka Plug & Play. Poslovanje tvrtke obavlja se na temelju ugovornog odnosa sa kompanijama temeljeno na B2B poslovanju. Tvrtka je 2018. godine osvojila jednu od najvećih nagrada pod nazivom „*Al Rising Star*“ Founders Foruma u Londonu. Tokom razvoja tvrtke, rješenja su implementirali na logističkim robotima. 2018. godine razvili su svoj prvi proizvod, a u to vrijeme bili su samo jedna od tri

tvrtke na svijetu, a jedina u Europi koja je razvijala autonomiju robotskih jedinica na temelju računalnog vida. Prema navodima

Gideon Brothers (2020.) računalni vid je kombinacija laserskog 2D radara i 3D kamere pomoću kojeg se upravljanje sustavom oslanja na vizualnu percepciju.



Slika 21. Inženjeri tvrtke Gideon Brothers

(Izvor: Link 21., 2022.)

Prvi proizvod tvrtke Gideon Brothers predstavlja „*Pallet Handling Robot*“ odnosno AMR sa raznim mogućnostima nadogradnje. Opremljen je sistemom za manipulaciju paleta, kontejnera ili kaveza nosivosti do 800 kg koristeći funkciju posmičnih radnih poluga.

5. PAMETNA SKLADIŠTA

Min (2023.) navodi da je pametno skladište zapravo inteligentno skladište budućnosti koje stvara fleksibilna i agilna skladišna okruženja pomoću automatizacije skladišnih aktivnosti i pokretanjem dijagnostike za bilo koju potrebu te na taj način omogućuje popravak i poboljšanje skladišne opreme i informacijske tehnologije.



Slika 22. Primjer pametnog skladišta

(Izvor: Link 22., 2019.)

Pomoću usvajanja podataka poput *Internet Of Things* (IoT), umjetne inteligencije, strojnog učenja, dubinskog učenja i robotike pretpostavlja se da će poslovanja skladišta uveliko promijeniti (van Geest, 2022.).

Van Geest i sur., (2021.) kao glavne prednosti pametnih skladišta navode:

- Pametna skladišta pružaju informacije u stvarnom vremenu, što u tradicionalnim oblicima skladišta nije moguće
- Ručni zadaci su minimizirani, a automatizacija zadataka je maksimizirana
- Poboljšana je operativna stabilnost jer u pametnim skladištima ažuriranje infrastrukture skladišta je lakše nego ažuriranje ljudskog kapitala unutar organizacije

- Automatizirane odluke donose se pomoću različitih modela predviđanja
- U pametnim skladištima upotrebljavaju se pametni senzori za nadzor skupocjene opreme zbog toga su zastoji minimalizirani

Isti autori kao nedostatke pametnih skladišta navode:

- Pametna skladišta su uveliko skuplja u odnosu na tradicionalna skladišta
- Prijelaz iz tradicionalnog načina rada na suvremeni je dugotrajan proces i zahtjeva puno truda i rada
- Prijelaz u suvremeni način rada zahtjeva veliku podršku menadžmenta

Wang i sur., (2015.) navode da se pametnim skladištima upravlja pomoću softverskih aplikacija koje se temelje na bazi podataka kao što je sustav za upravljanje zalihama *IMS (Inventory management system)*, sustav za planiranje i raspoređivanje *APS (Advance Planning and Scheduling)*, sustav za upravljanje transportom *TMS (Transportation management system)*, sustav za upravljanje skladištem *WMS (Warehouse management system)* i sustav za planiranje resursa *ERP (Enterprise Resource planning)*.

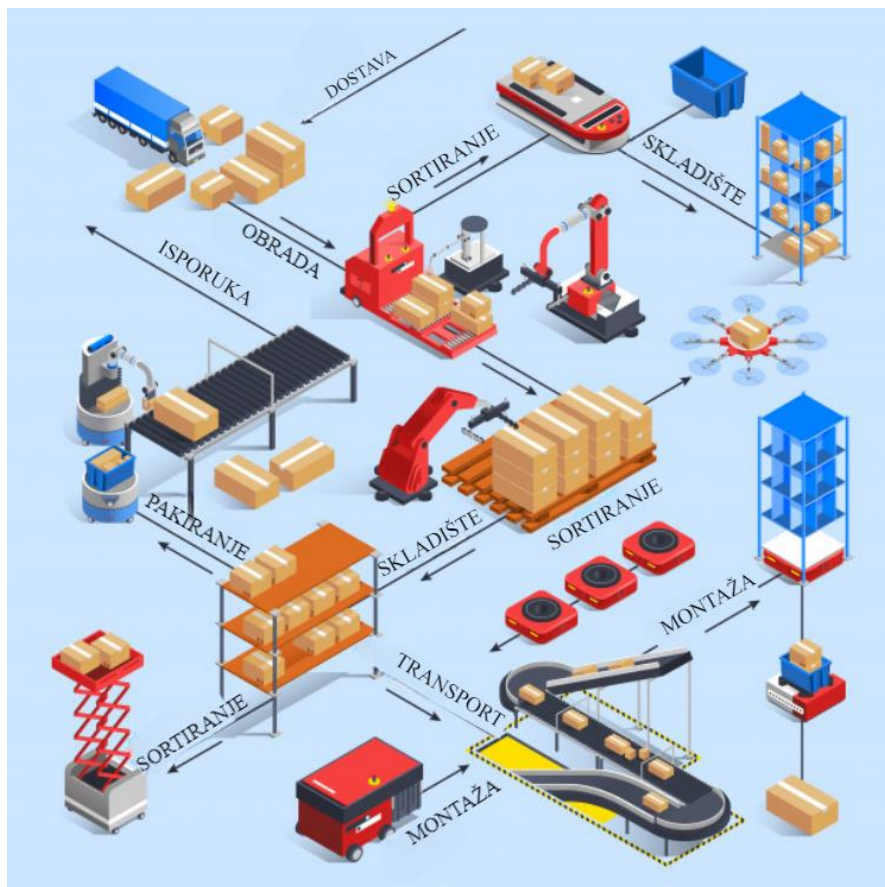
Prema navodima Wang i sur., (2015.) ključni sustav element automatiziranih skladišta predstavlja sustav skladištenja i preuzimanja (*AS/RS*)

Culler i Long, (2016.) navode da se u pametnim skladištima koriste automatizirani sustavi vođenja vozila (*AGVS*) čiji se pokreti usmjeravaju pomoću senzora te zbog toga imaju veću fleksibilnost pri rotiranju i otpremi.

Pametna skladišta oslanjaju se na robotiku, IoT i umjetnu inteligenciju kako bi omogućila obavljanje zadataka korištenjem tehnologije. Druge važne komponente pametnog skladišta su Brush, (2019.):

- Radiofrekvencijska identifikacija (*RFID*)
- Nosiva tehnoloija
- Senzori
- Sustav upravljanja skladištem (*WMS*)

Prema navodima Min, (2022.) umjetna inteligencija mogla bi predstavljati glavni sustav upravljanja pametnim skladištem. Sučelje koje bi moglo pretvoriti čovjeku razumljive naredbe u strojno čitljive i obrnuto pretvaranje strojne povratne informacije u informacije razumljive ljudima bilo bi ključno za otklanjanje pogrešaka u sustavima skladišta, otkrivanja kvarova opreme i smanjenje kvarova.



Slika 23. Princip rada pametnog skladišta

(Izvor: Link 23., 2019.)

5.1. SUSTAV CPS

Che, (2017.) u središtu pametnog sustava skladištenja nalazi se kibernetičko-fizički sustav odnosno sustav CPS (*Cyber-Physical Warehouse System*). Sustav CPS omogućuje autonomnu sposobnost donošenja odluka na temelju integracije računalnih i fizičkih komponenti i

informacija koje su prikupljene u stvarnom vremenu. Sustav je dizajniran za integraciju senzora, izračunavanje podataka i umrežavanje informacije u „pametne“ fizičke objekte i infrastrukturu povezanu s IoT-om.

Prema navodima Min, (2022.) stroj ljudima pruža više slobodnog vremena i prostora te smanjuje ljudske greške i poboljšava prilagodljivost današnjim okruženjima koja se dinamički mijenjaju.

Kohler i Weisz. (2015.) sustav CPS definiraju kao ugrađeni sustav koji koristi senzore i uređaje za pronalaženje podataka i djelovanje na fizičke procese. Međusobno su povezani pomoću digitalnih mreža i koriste sve dostupne podatke i usluge.

Autonomni sustavi na vozilu također su CPS, opremljeni sensorima za opažanje okoline u kojoj se nalaze te imaju sposobnost djelovati na fizičke procese pomoću aktuatora Wittenberg, (2016.).

Prema navodima Chen, (2017.) opskrbni lanci predstavljaju skup poslovnih procesa i prema tome idealno su postavljeni za integraciju sustava CPS-a kao načina praćenja i donošenja odluka. CPS može pružiti široku kontrolu nad velikim industrijskim procesima kroz heterogenu mrežnu arhitekturu senzora, aktuatora i procesa. CPS integrira sve mehanizme za postizanje i održavanje sinkroniziranog stanja.

Lee i sur., (2015.) navode da CPS može stvoriti sinergiju među partnerima u opskrbnom lancu pomoću digitalno povezanih informacijsko-komunikacijskih mreža. CPS može transformirati način na koji ljudi komuniciraju s fizičkim sustavima i potaknuti inovacije.

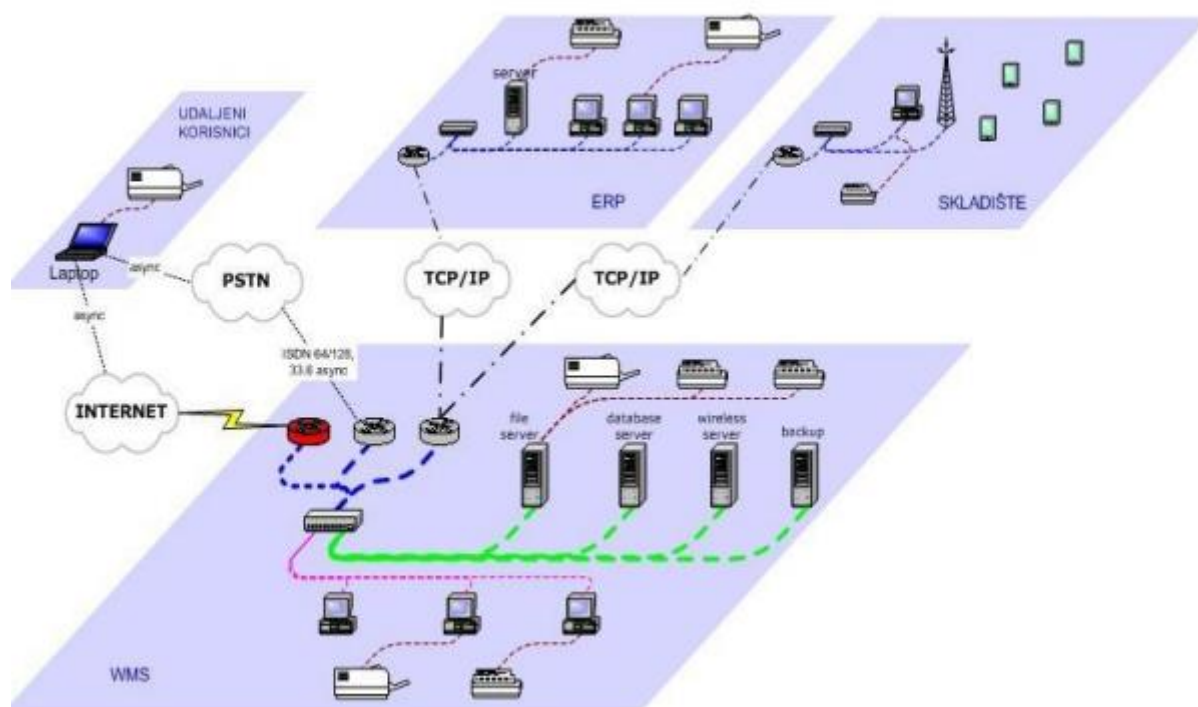
Liu i sur., (2018.) navode da su suvremenije tehnike u cyber-fizičkim sustavima olakšale izgradnju pametnih skladišta za postizanje obećavajuće vizije industrije 4.0. Isti autori također su naveli da sustav pametna skladišta koja se temelje na CPS sustavu posjeduju četiri glavne komponente, a to su :

- CPS uređaji
- Zalihe
- Robote
- Ljudsku radnu snagu

Plodonosna primjena CPS-a mogla bi uključivati razvoj pametnog skladišta u kojem ljudi rade u zajednici s kolaborativnim robotima kroz interakciju između čovjeka i stroja (Min, 2023.).

5.2. SUSTAV WMS

Prema navodima Bobinca, (2017.) sustav upravljanja skladištem (WMS) predstavlja računalni sustav koji kao glavni cilj ima kontrolu kretanja i skladištenja robe unutar skladišta. Sustav obrađuje transakcije, uskladištenje, popunjavanje, komisioniranje te ažurira stanje i količinu zaliha na temelju informacija koje prikuplja u stvarnom vremenu.



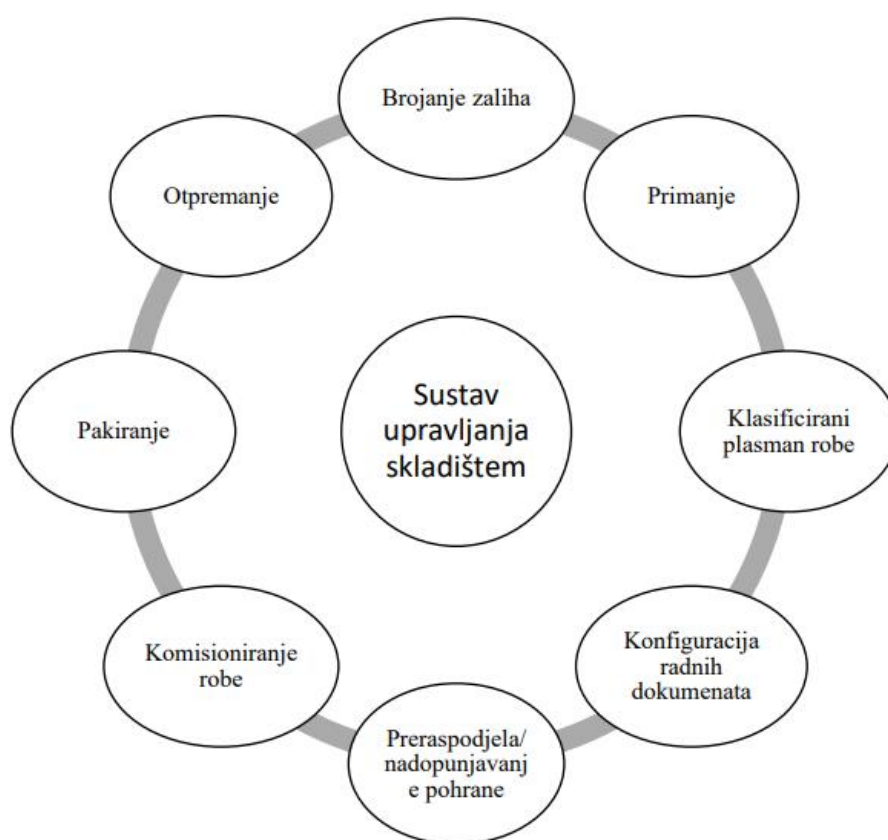
Slika 24. Sustav WMS

(Izvor: Link 24., 2023.)

Sustav upravljanja skladištem ne zahtjeva svako poduzeće, potreba za uvođenjem započinje nakon detaljne analize isplativosti uvođenja. Uvođenje WMS sustava postaje isplativo kako raste promet poduzeća, jer pojednostavljuje praćenje kretanja robe i pohranu robe. Jedna od

prednosti sustava je i izbjegavanje nepotrebnih troškova. Kao najčešće razloge uvođenja WMS sustava Rogić (2018.) navodi:

- Smanjenje troškova rada
- Učinkovitije iskorištenje skladišnog prostora
- Povećanje točnosti isporuke robe
- Povećanje točnosti evidencije stanja zaliha
- Ubrzanje skladišnih troškova



Slika 25. Značajke WMS-a

(Izvor: Link 25., 2022.)

Prema navodima Hren i Gavez., (2018.) prilikom odabira WMS rješenja potrebno je obratiti pozornost na ostale činitelje, a to su:

- Vidljivost – Procesi koji se odvijaju u WMS-u moraju biti vidljivi u realnom vremenu. Uvid u podatke u realnom vremenu dovodi do bržeg i kvalitetnijeg donošenja odluka.
- Pouzdanost – Poremećaji ili prekidi u radu WMS-a, kojih će biti, ne smiju se desiti u tolikom opsegu da uzrokuju usporavanje procesa rada skladišta
- Fleksibilnost – Rješenje mora biti fleksibilno da može pratiti fluktuacije u poslovanju kao što su povećanje broja djelatnika ili artikala, povećanje broja dobavljača, povećanje kapaciteta skladišnog prostora
- Integracija s ERP sustavom predstavlja jedan od važnijih zahtjeva pri odabiru WMS rješenja. Prema tome najbolje je rješenje kada je WMS dio ERP sustava ili su bazirani na istoj platformi. Povezivanjem ERP-a i WMS-a koji se nalaze na različitim platformama je moguće, ali može uzrokovati dodatne troškove u smislu troškova integracije i vremena te se povećava mogućnost poremećaja pri radu.
- Jednostavnost korištenja – WMS mora biti „prijateljski“ sustav prema korisnicima. U protivnom veliki resursi u smislu financijskih sredstava i vremena troše se na edukaciju osoblja. Mogućnost korištenja sezonskih ili privremenih i povremenih djelatnika znatno je smanjena.
- *Reporting* – Sustav upravljanja skladištem mora pružiti mogućnost izvještavanja o ključnim KPI3 parametrima skladišnog poslovanja, kao što su broj složenih artikala po satu i/ili danu, broj grešaka po pojedinom komisioneru ili djelatniku na kontroli, broj isporuka u danu i sl. Pomoću izvještaja moguće je napraviti analizu procesa i djelatnika u skladištu.
- Mogućnost upisa dodatnih informacija o artiklu – WMS mora omogućiti uz upis standardnih informacija poput šifre, *EAN code*, naziva i upis dodatnih informacija o artiklu kao npr, rok trajanja, datum proizvodnje, težinu, temperaturu i sl.
- WMS mora imati i preporuke za skladištenje robe kao npr. FEFO (prvo artikli kojima najprije istječe rok), FIFO (prvo artikli koji su najduže u skladištu). Preporuke se mogu odnositi i na seriju proizvodnje (prvo najstarija), zatim preostali rokovi trajanja.
- Dobavljač WMS rješenja trebao bi imati referentnu listu klijenata koju je moguće provjeriti, uključiti i posjete nekima od njih kako bi vidjeli rad WMS-a uživo.
- Korisnička podrška – dobavljač mora osigurati edukaciju djelatnika u skladištu i imati efikasnu korisničku podršku u vremenu koje odgovara vremenu skladišta. Vrijeme reakcije na prijavljeni problem je vrlo bitno.
- Analiza uvođenja WMS koja će opravdati financijsko uvođenje sustava i osigurati vraćanje financija u relativno brzom roku. Važna je procjena troškova i ušteda iako neki od njih nisu

odmah vidljivi. WMS utječe na reduciranje troškova radne snage i često se precjenjuju uštede koje se tu realno mogu očekivati. WMS od djelatnika zahtjeva povećanje znanja i vještina, što dovodi do većih troškova edukacije.

Prema navodima Dvorščak, (2018.) načela rada WMS-a su:

- Smještaj velike količine robe na malom prostoru,
- Programsko (algoritamsko) rješenje ulaza i izlaza artikala,
- Strateško upravljanje,
- Automatska povezanost s nadređenim sustavom,
- Upravlјivost i kontrola radnih procesa,
- Upravlјanje i kontrola angažmana ljudi i sredstava,
- Automatska povezanost s nadređenim sustavom.

Prema navodima Dvorščak, (2018.) troškovi implementacije uz pretplatu u malim skladištima iznose 1.000,00 \$, a bez pretplate 2.000,00 \$. U srednjim skladištima troškovi implementacije uz pretplatu iznose 5.000,00 \$, a bez pretplate 5.5500,00 \$, dok u velikim skladištima troškovi uz pretplatu iznose 7.000,00 \$, a troškovi bez preplate 10.000,00 \$.

Radošević, (2018.) navodi da se cijena osnovnog WMS-a kreće između 10.000 i 50.000 €, vrijeme potrebno za implementaciju iznosi 6 do 12 tjedana. Autor također navodi da cijena srednje naprednog WMS-a iznosi između 30.000 i 200.000 €, a trajanje implementacije iznosi od 3 do 6 mjeseci. Napredni WMS predstavlja najvišu razinu upravljanja skladištima, a njegova cijena iznosi više od 200.000 €. Napredna rješenja WMS-a podržavaju više lokacija skladišta, više tipova skladišnih zona i rade napredne optimizacije procesa.

5.3. RFID

Radio-frekvencijska identifikacija (RFID) smatra se jednom od najperspektivnijih tehnologija usvojenih u skladištima. RFID ispunjava dva ključna zahtjeva kad su u pitanju poboljšanja WMS-a, a to su: veća učinkovitost i niži troškovi (Li i sur., 2011.).

RFID tehnologija predstavlja naprednu tehnologiju automatske identifikacije koja koristi radio valove za prijenos između RFID oznaka i čitača. Prikupljene informacije prosljeđuju se međuprogramu gdje se obrađuju i zatim se mogu koristiti na različite načine (Lim, 2013.).

Žubrinić, (2004.) navodi da je radiofrekvencijska identifikacija (RFID) zamišljena je kao jednostavna zamjena bar kodova gdje bi se identifikacija proizvoda vršila bežičnim putem, preko radio valova. Korištenjem takvog sustava uklanjaju se određena ograničenja koja postoje kod korištenja bar kodova kao što su npr. potreba za izravnom vidljivošću koda od strane čitača, mala udaljenost na kojoj se može očitavati, problemi s istrošenošću ili oštećenjima naljepnica s oznakama bar kodova, sporost kod očitavanja veće količine proizvoda.



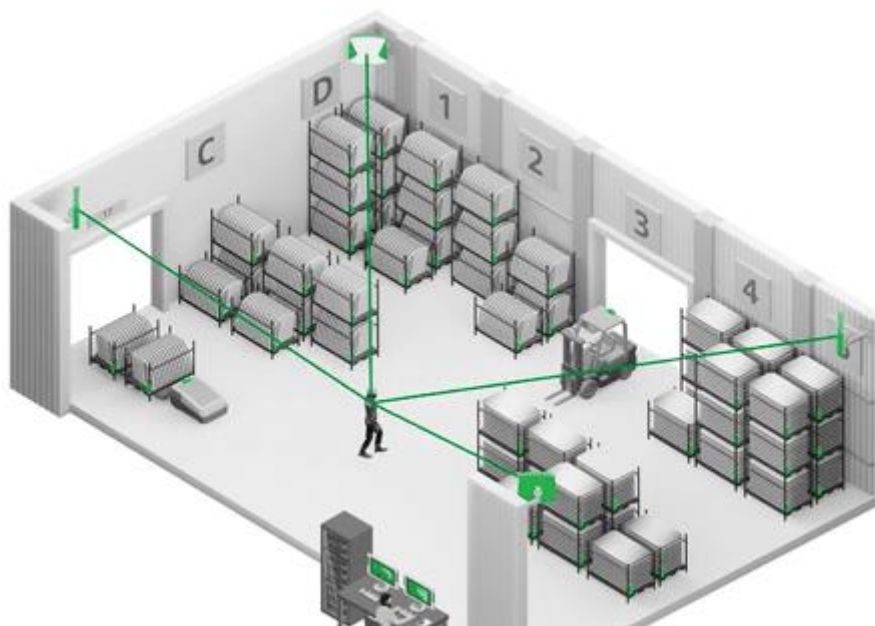
Slika 26. RFID tehnologija u logistici

(Izvor: Link 26., 2022.)

Kao dio pametne automatizacije skladišta, mnogi 'mrežni trgovci na malo promijenili su svoje operacije preuzimanja i pakiranja u skladištu od čovjeka prema robu u robu prema čovjeku' (Aggarwal i sur., 2018.). Trenutne tehnologije praćenja temeljene na Internetu stvari (IoT), kao što je RFID, omogućuju sustavima da se nose sa složenom slučajnošću. Takva nasumičnost je raspodjela proizvoda na različite utore na policama uz maksimalnu okupaciju prostora i smanjenje troškova rukovanja. Za prijevoz se uvode automatizirano vođena vozila (AGV).

RFID se može primijeniti u različitim dijelovima opskrbnog lanca kao što su upravljanje skladištem, upravljanje prijevozom, planiranje proizvodnje, naručivanje upravljanje, upravljanje zalihama i RFID tehnologija imovine kao operativna strategija sustava upravljanja (Banks i sur., 2007.).

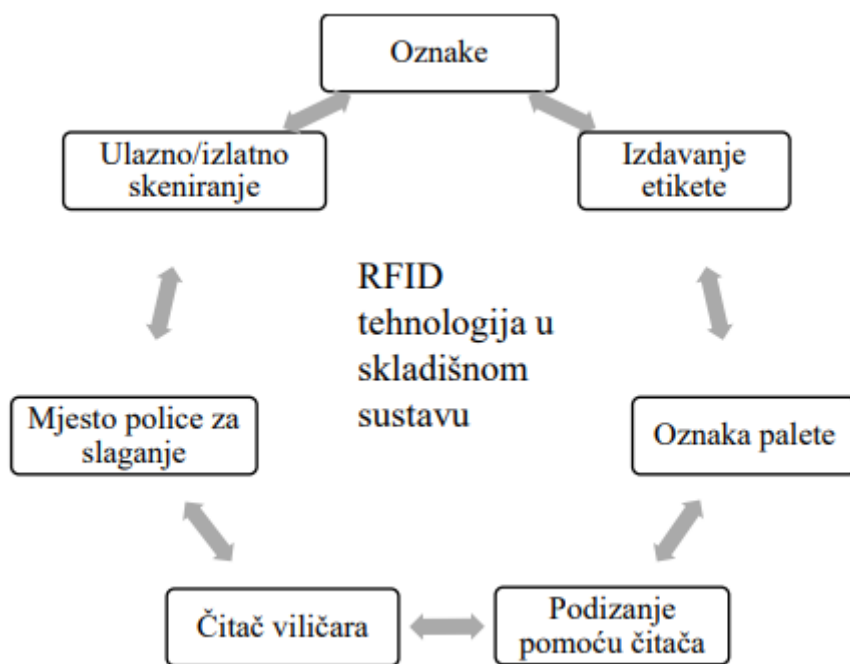
Na području RFID-a postoje brojna istraživanja. Na primjer, Spekman i Sweenry (2006.) predstavili su pregled RFID tehnologije. Cilj je pružiti uvid u implementaciju i korištenje RFID-a bazirajući se na njegove prednosti i rezultate. Janke i sur. (2007.) predstavili su Njemačku logističku tvrtku koja je uspješno implementirala i sestirala sustav za praćenje robe koja je otpremljena kroz transportne lance dvaju dobavljača. Wang i sur. (2010.) predložili su digitalni sustav upravljanja skladištem u duhanskoj industriji koji se temelji na RFID tehnologiji. Cyplik i Patecki (2011.) uspoređivali su mogućnosti identifikacijskih metoda temeljenih na RFID-u i RTLS-u (*Real Time Location System*) u određenim gospodarskim uvjetima



Slika 27. *Real-Time Location System*

(Izvor: Link 27., 2022.)

Najvažnija prednost RFID tehnologije u logistici nalazi se u činjenici da RFID predstavlja prvu tehnologiju pomoću koje sustav može razmjenjivati informacije s proizvedenom robom, strojevima, alatom i transportnim vozilima bez ikakve ljudske intervencije i bez potrebe da čitač i označeni proizvod budu u optičkoj vidljivosti (Mesarić i Dujak 2009.).



Slika 28. RFID tehnologija u skladišnom sustavu

(Izvor: Link 28., 2022.)

RFID tagovi nalaze se na proizvodu, a označeni su pomoću radio valova koje emitira čitač i njegova pripadajuća antena. Pomoću antene, tag primljeni signal pretvara u električnu energiju koja mu omogućava funkcioniranje. Istovremeno šalje prema čitaču informacije o proizvodu. Čitač konvertira primljene informacije u digitalni oblik i otprema ih prema računala, odnosno u računalni sustav (Mesarić i Dujak, 2009.).

Topić (2022.) u svojem radu kao prednosti korištenja RFID-a navodi:

- Smanjuje potrebu za ručnim provjerama i brojanjem,
- Smanjuje potraživanje i odbitke,
- Smanjuje troškove rukovanja zalihama,
- Smanjuje otpad,
- Pomaže u smanjenju nedostatka zaliha i poboljšanju obrtaja zaliha,
- Pomaže u sprječavanju distribucije i prodaje krivotvorenih proizvoda,
- Povećava produktivnost distribucijskog centra i
- Pomaže u stvaranju prilagodljivijeg opskrbnog lanca

5.4. PREDNOSTI PAMETNOG SKLADISTA

Budgen i sur. (2007.) navode da pametna skladišta koja koriste inteligentnu opremu posjeduju brojne prednosti. Neke od tih prednosti su:

- Smanjene razine zaliha radi poboljšane vidljivosti opskrbnog lanca. Obrazloženje za to je da poboljšana vidljivost skladišnih operacija ugradnjom DRP-a (Distribution Requirements Planning) unutar WMS-a povećava dostupnost informacija u stvarnom vremenu.
- Poboljšana agilnost skladištenja i brže vrijeme odgovora kupaca stvaraju se zahvaljujući tehnologiji ugrađenog senzora jer brzo prepoznaje pogreške u ispunjavanju putem automatizacije.
- Povećana produktivnost rada kroz povećanu automatizaciju i suradnju čovjeka i robota, bez minimalnog ljudskog angažmana, u cjelokupnom procesu skladištenja. Automatizacija skladištenja ograničava potrebu za ljudskim osobljem na licu mjesta i pomaže tvrtkama da se bolje pripreme za najprometnije doba godine, kao što su Dan zahvalnosti i božićni praznici.
- Veći povrat na imovinu kroz potpuno korištenje skladišne opreme.
- Bolja kontrola kvalitete usluge ranijim otkrivanjem anomalija i praćenjem rada pomoću ugrađenih senzora. Na primjer, senzor vibracija može dati upravitelju skladišta rano upozorenje kada skladišnoj opremi, AS/RS i AGV-ovima treba hitno održavanje ili popravak. Unatoč gore navedenim golemim prednostima pametnog skladišnog sustava, pametno skladište može predstavljati mnoge izazove.

6. ZAKLJUČAK

Rast populacije i gospodarski rast neprestano se odvija, a zbog toga dolazi do veće potražnje proizvoda, logističkih usluga, poslovnim prostorima, radnom snagom. Automatizacija skladišta omogućava lakše i jednostavnije obavljanje logističkih operacija. Svi podaci o količini robe uskladištene i otpremljene pohranjuju se u bazu podataka te se mogu provjeriti u bilo kojem trenutku tijekom rada. Zbog toga automatizacija se sve više uvodi u skladišta u oblicima automatiziranih skladišnih sustava (AS/RS), te kroz automatizaciju transporta materijala pomoću automatiziranih vozila (AGV) i autonomnih mobilnih robota (AMR). Autonomni mobilni roboti kroz godine zabilježili su ogroman napredak, postali su sve složeniji, a njihova složenost može se izreći u tome da su u stanju samostalno izbjegavati prepreke na koje nalaze, te samostalno izbjegavati zaposlenike ukoliko im se zateknu na putu od točke A do točke B. Autonomni mobilni roboti osim izbjegavanja prepreka i navigacijskog sustava mogu identificirati gdje se nalaze stvari u skladištu, prepoznati okolinu u kojoj se nalaze te na taj način izračunati najučinkovitiji put od točke A do točke B. AMR sustavi predstavljaju jednu od najvažnijih i najnovijih automatiziranih rješenja na tržištu.

Autonomni mobilni roboti predstavljaju veoma učinkovito rješenje tvrtkama koje imaju velike potrebe za radnom snagom te su u mogućnosti financirati noviji oblik automatizacije. AMR sustavi uveliko mogu olakšati rad zaposlenicima.

Tvrtka Gideon Brothers predstavlja primjer uspješnog razvoja robotske tehnologije. U nekoliko godina postala je jedna od vodećih 3PL tvrtki u svijetu. Napredak tehnologije sve je veći, a manjak radne snage prijete tvrtkama. Zbog toga većina tvrtki, kako bi ostale konkurentne morat će poboljšati poslovanje uvođenjem automatizacije i korištenjem robota u svojim skladištima.

7. POPIS LITERATURE

1. Aggarwal V, Nof S. Y. (2018). Differentiated service policy inmart warehouse automation. International Journal of ProductionResearch.
2. Aliche, K., Rexhause, D., Seyfert, A. (2017). Supply chain 4.0 inconsumer goods.
3. Alatisse, M. B., Hancke, G. P. (2020). 'A review on challenges of autonomous mobile robot and sensor fusion methods'.
4. Bajivić, V. (2021). 'Primjena digitalnih tehnologija za unapređenje rada u skladištu', Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike.
5. Banks J., Hanny D., Pachano M.A., Thompson L.G. (2007). RFID applied. John Wiley&Sons, Inc.
6. Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., Iakovou, E. (2017). Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles, Journal of Cleaner Production
7. Berg, J. (2007). Integral Warehouse Management: The Next Generation in Transparency, Collaboration and Warehouse Management Systems.
8. Bobinac, T. (2017). Aplikacija za upravljanje skladištem temeljena na aktivnim bazama podataka, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije informatike
9. Chen, H. (2017). Applications of cyber-physical system: A literature review. J. Ind. Integr. Manag.
8. Chen, H.; Cheng, H.; Zhang, B.; Wang, J.; Fuhlbrigge, T.; Liu, J. (2013). Semiautonomous industrial mobile manipulation for industrial applications. In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, Nanjing, China.
9. Culler, D., Long, J., (2016). A Prototype Smart Materials Warehouse Application Implemented Using Custom Mobile Robots and Open Source Vision Technology Developed Using EmguCV. Procedia Manufacturing.
10. Custodio, L., Machado, R., (2020). Flexible automated warehouse: a literature review and an innovative framework. International Journal of Advanced Manufacturing Technology
11. Cyplik P., Patecki A. (2011). RTLS vs RFID partnership or competition.
12. De Ryck, M., Versteyhe, M., Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems, stateof-the-art control algorithm and techniques. Journal of manufacturing systems

13. De Silva, V., Rochje, J., Kondož, A. (2018.) Robust fusion of LiDAR and wide-angle camera data for autonomous mobile robots
14. Dhaliwal, Amandeep. (2020). The Rise of Automation and Robotics in Warehouse Management.
15. Dias, L.A., de Oliveira Silva, R. W., da Silva Emanuel, P. C., Ferrus Filho, A., Bento, R. T. (2018). Application of the fuzzy logic for the development of autonomous robot with obstacles deviation
16. Dvorščak, M. (2018). 'Analiza utjecaja implementacije WMS-a na skladišne procese', Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.
17. Fragapane, G., De Koster, R., Sgarbossa, F., Strandhagen, J.O. (2021). Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda.
18. Fragapane, G.; Hvolby, H.H.; Sgarbossa, F.; Strandhagen, J.O (2020). Autonomous Mobile Robots in Hospital Logistics. In Proceedings of the Advances in Production Management Systems.
19. Furmans, K., F. Schönung, and K. R. Gue. (2010). Plug and work material handling systems. Progress in Material Handling Research.
20. Garc, R. (2017). 'Skladišni sustav kao logistički sustav poduzeća, Završni rad, Veleučilište u Požegi.
21. Goodwin, D. (2020.) The Evolution of Autonomous Mobile Robots
22. Hercik, R.; Byrtus, R.; Jaros, R.; Koziorek, J. (2022). Implementation of Autonomous Mobile Robot in SmartFactory. Appl. Sci. 2022.
23. Hernandez, C., Bermejo - Alonso, J., Sanz. R. (2018). A self-adaption framework based on functional knowledge for augmented autonomy in robots, Integrated Computer-Aided Engineering
24. Hossain, Rasel. (2022). A Short Review of the Robotics. Robotics and Autonomous Systems.
25. Hren, M., Gavez, I. (2018). Upravljanje zalihama i optimizacija skladišta. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, 6. (12.) savjetovanja
26. Indri M, Lachello L, Lazzero I, Sibona F, Trapani S. (2019). Smart Sensors Applications for a New Paradigm of a Production Line. Sensors.
27. Iqbal, J., Islam, R.U., Abbas, S.Z., Khan, A.A., Ajwad, S.A. (2016). Automating industrial tasks through mechatronic systems – review of robotics in industrial perspective

28. Janke M., Thorne K., Rimmel T., Lubbe T. (2007). ReiCo Spedition focuses RFID on the backtracking of food. *Log Forum* 3, 1, 3
29. Kamali, Ali. (2019). "Smart Warehouse vs. Traditional Warehouse - Review." *Automation and Autonomous System* 11
30. Khan, MG; Huda, NU; Zaman, UK. (2022). Pametni sustav upravljanja skladištem: Arhitektura, implementacija u stvarnom vremenu i dizajn prototipa.
31. Kohler, D., Weisz, J.-D. (2015). : Industrie 4.0: quelles stratégies numériques? La numérisation de l'industrie dans les entreprises du Mittelstand allemand. Kohler Consulting & Coaching
32. Kumar, Yuvraj. (2018). *Artificial Intelligence & Robotics – Synthetic Brain in Action*
33. Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems.
34. Liu, X.; Cao, J.; Yang, Y.; Jiang, S. (2018). CPS-Based Smart Warehouse for Industry 4.0: A Survey of the Underlying Technologies.
35. Liu S, Zhang D, Zhang R., Liu B. (2013). Analysis on RFID operation strategies of organic food retailer, *Food Control*
36. Loganathan, A., Ahmad, N.S. (2023). A systematic review on recent advances in autonomous mobile robot navigation, *Engineering Science and Technology*
37. Lu ZHEN., Haolin LI. A literature review of smart warehouse operations management 2021.
38. Majchrzak, M. (2020). AMR market expands rapidly: The market for autonomous mobile robots (AMRs) is growing fast, and there is a lot of demand globally for them in traditional automation, in non-automotive sectors. *Control. Eng.*
39. McMorris, B. A. (2019). *History Timeline of Industrial Robotics; Futura Automation: Bengaluru, India.*
40. Meller, R. D., Nazzari, D., Thomas, L. M. (2018.). Collaborative bots in distribution centers. In *Proceedings of the 15th IMHRC proceedings (savannah, georgia. USA – 2018.)*
41. Mesarić, J., Dujak, D. (2009). SCM u trgovini na malo – poslovni procesi i ICT rješenja. 9. znanstveni skup s međunarodnim sudjelovanjem *Poslovna logistika u suvremenom menadžmentu*, Ekonomski fakultet u Osijeku.
42. Min, H. (2023). Smart Warehousing as a Wave of the Future. *Logistics.*

43. Min, H. (2022). *The Essentials of Supply Chain Management: Theory and Applications*; Amazon Direct Publishing: Seattle, WA, USA, 2022.
44. Negrello, Francesca, Stuart, Hannah & Catalano, Manuel. (2020). *Hands in the Real World*. 10.3389/frobt.2019.00147.
45. Nikolić, G. (2015). *Razvoj robota i promjene koje oni donose*
46. Novaković, B. (2016). „Robotika“ Leksikografski zavod Miroslava Krleža
47. Pakter, M. (2021). 'Razvoj i primjena robotike', Završni rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli.
48. Rogić, K. (2018). *Upravljanja skladišnim sustavima*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti.
49. Spekman R.E., Sweeney II P.J. (2006). RFID: from concept to implementation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
50. Sulaiman S., Umar U.A., Tang S.H., Fatchurrohman N. (2012). Application of Radio Frequency Identification (RFID) in Manufacturing in Malaysia. *Procedia Engineering*.
51. Tolić, N. (2022). 'Upravljanje skladištem', Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.
52. Tompkins, J., White, J., Bozer, Yavuz., Tanchoco, J.. (2010). *Facilities Planning*.
53. Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster,A (2006). review of design and control of automated guided vehicle systems,*European Journal of Operational Research*,
54. van Geest, M.; Tekinerdogan, B.; Catal, C. (2022). *Smart Warehouses: Rationale, Challenges and Solution Directions*.
55. Vukelić, D. (2020). 'Primjena robota u skladišnom poslovanju', Diplomski rad, Sveučilište Sjever.
56. Žubrinić, K. (2004). Korištenje sustava za radiofrekvencijsku identifikaciju u poslovanju. Sveučilište u Dubrovniku. LAUS novosti br. 16.
57. Wang, Q.; Alyahya, S.; Bennett, N.; Dhakal, H. (2015). An RFID-enabled automated warehousing system. *Int. J. Mater. Mech. Manuf*.
58. Wang H., Chen S., Xie Y. (2010). An RFID based digital warehouse management system in the tobacco industry: a case study. *International Journal of Production Research*.
59. Wittenberg, C. (2016). Human-CPS interaction—requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*.

Internetski članci:

1. Daley, S. (2022). Robotics Technology, dostupno na: <https://builtin.com/robotics> (pristupljeno: 22.06.2023.)
2. Edwards, D. (2021). How are AGVs different from AMRs, dostupno na: <https://roboticsandautomationnews.com/2021/03/08/how-are-agvs-different-from-amrs/41242/> (pristupljeno: 22.06.2023.)
3. Gideon Brothers, (2020). Solutions. Gideon Brothers, dostupno na: <https://www.gideonbros.ai/autonomous-logistics-robots-solve-supply-chain-andmanufacturing-problems/> (pristupljeno: 13.07.2023.)
4. Ivezić, B. (2021). Gideon Brothers peti proizvođač autonomnih robota na svijetu, dostupno na : <https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/gideon-brothers-peti-proizvodac-autonomnih-robota-na-svijetu-15061572> (pristupljeno: 13.07.2023.)
5. Moravec, H. (2020). „Robotics“, dostupno na: <https://www.britannica.com/technology/robotics> (pristupljeno: 22.06.2023.)
6. Nichols, G. (2020). Robotics in the enterprise. TechRepublic, dostupno na: <https://www.techrepublic.com/resource-library/whitepapers/robotics-in-the-enterprise-freepdf/> (pristupljeno: 22.06.2023.)
7. Novaković, B. (2016). „Robotika“, dostupno na: <https://tehnika.lzmk.hr/robotika/> (pristupljeno: 22.06.2023.)
8. Piedmont National, (2019). AMR TECHNOLOGY: OBSTACLE AVOIDANCE AND MAPPING, dostupno na: <https://piedmontnational.com/amr-technology-obstacle-avoidance-and-mapping/> (pristupljeno: 3.07.2023.)
9. Radošević, D. (2018). Tri tipa WMS rješenja, dostupno na: <https://blog.spica.com/bosanski/tri-tipa-wms-rjesenja-2/> (pristupljeno: 13.07.2023.)
10. Rigoni, T. (2022.) How LiDAR is revolutionizing warehouse operations, dostupno na: <https://www.smartindustry.com/tools-of-transformation/robotics/article/21436540/LiDAR-revolutionizing-warehouse-operations> (pristupljeno: 13.07.2023.)
11. RoboticsBiz (2020.) The Future of Robotics in Logistics And Supply Chain, dostupno na: <https://roboticsbiz.com/the-future-of-robotics-in-logistics-and-supply-chain/> (pristupljeno: 25.06.2023.)
12. Spencer, A. (2018). Robots With Laser and Vision Systems Conquer New Industrial Terrain, dostupno na : <https://aethon.com/our-navigation-methodology-explained/> (pristupljeno 5.07.2023.)

13. Svoboda, E. (2019). Your robot surgeon will see you now, dostupno na: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02874-0> (pristupljeno 25.06.2023.)

Internetski linkovi slika:

Link 1. <https://www.istockphoto.com/photo/robots-working-on-conveyor-belt-in-smart-distribution-warehouse-gm1365231972-436164057>

Link 2. <https://zimo.dnevnik.hr/clanak/najnapredniji-humanoidni-robot-na-svijetu-najavio-veliku-novost---750898.html>

Link 3. <https://www.bug.hr/startup/autonomni-skladisni-roboti-gideon-brothersa-u-pilot-projektu-s-orbicom-1131>

Link 4. https://www.researchgate.net/figure/Robot-equipped-with-mine-detecting-sensors_fig1_292837172

Link 5. https://www.researchgate.net/publication/362931484_A_Short_Review_of_the_Robotics

Link 6. <https://gospodarski.hr/rubrike/mehanizacija/poljoprivredni-roboti-3/>

Link 7. https://www.researchgate.net/figure/Walters-Machina-Speculatrix-The-early-robot-Shakey-Stanford-Research-Institute_fig2_234096737

Link 8. <https://control.com/technical-articles/the-evolution-of-autonomous-mobile-robots/>

Link 9. <https://www.cmc-consultants.com/blog/the-3-most-common-challenges-with-manufacturing-robots>

Link 10. <https://zh-cn.facebook.com/Kawasaki.Robotics.Europe/videos/1388936164638591/>

Link 11. <https://www.designworldonline.com/slam-technology-improves-amr-autonomy/>

Link 12. <https://jatrgovac.com/db-schenker-uveo-autonomne-mobilne-robote-gideon-brothersa/>

Link 13. <https://pyramidcontrols.com/matthews-unveils-newest-generation-of-autonomous-mobile-robots-engineered-to-maximize-flexibility/>

Link 14. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/17/8912/pdf>

Link 14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721000217>

Link 15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098623000204>

Link 16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098623000204>

Link 17. https://gibas.nl/wp-content/uploads/2021/01/mir100-user-guide_31_en.pdf

Link 18. https://gibas.nl/wp-content/uploads/2021/01/mir100-user-guide_31_en.pdf

Link 20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721000217>

Link 19. <https://www.sick.com/es/en/end-of-line-packaging/automated-guided-vehicle-agv/navigation-in-the-warehouse-with-navigation-scanners/c/p514345>

Link 20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721000217>

Link 21. <https://www.netokracija.com/gideon-razvoj-robota-izazovi-testiranje-189552>

Link 22. <https://vakoms.com/blog/smart-warehousing-benefits-for-business/>

Link 23. <https://www.bizbloqs.com/what-is-a-warehouse-management-system/>

Link 24. <https://www.primatlogistika.hr/proizvodi/skladisni-uredaji-i-sustavi/skladisni-software-wms>

Link 25. <https://dabar.srce.hr/islandora/object/pfri%3A3046>

Link 26. <https://www.zetes.com/sites/default/files/inline-images/graph-01.jpg>

Link 27. <https://rmsomega.com/rfid/track/real-time-location-systems-rtls/>

Link 28. <https://dabar.srce.hr/islandora/object/pfri%3A3046>

8. SAŽETAK

U radu su objašnjeni sustavi autonomnih mobilnih vozila u skladištima. Prikazana je i objašnjena svrha korištenja AMR sustava, njihov razvoj kroz povijest te način korištenja. Analizirani su oblici navigacije pomoću koje autonomni mobilni roboti određuju svoju rutu te izbjegavaju prepreke. Prikazana je i objašnjena usporedba sustava AMR i AVG. Zatim su pojašnjena pametna skladišta i sustavi koji se u njima koriste. Objašnjen je sustav upravljanja skladištem te razlozi zbog kojih se takav sustav uvodi u skladišne objekte. Prikazana su i objašnjena načela rada takvog sustava te troškovi uvođenja ovisno o veličini skladišta. Objašnjeno je korištenje radio-frekvencijske tehnologije i slikovito su prikazana načela rada rfid tehnologije u skladištu.

Ključne riječi: autonomni mobilni roboti, pametna skladišta, AGV sustav

9. SUMMARY

U radu su objašnjeni sustavi autonomnih mobilnih vozila u skladištima. Prikazana je i objašnjena svrha korištenja AMR sustava, njihov razvoj kroz povijest te način korištenja. Analizirani su oblici navigacije pomoću koje autonomni mobilni roboti određuju svoju rutu te izbjegavaju prepreke. Prikazana je i objašnjena usporedba sustava AMR i AVG. Zatim su pojašnjena pametna skladišta i sustavi koji se u njima koriste. Objašnjen je sustav upravljanja skladištem te razlozi zbog kojih se takav sustav uvodi u skladišne objekte. Prikazana su i objašnjena načela rada takvog sustava te troškovi uvođenja ovisno o veličini skladišta. Objašnjeno je korištenje radio-frekvencijske tehnologije i slikovito su prikazana načela rada rfid tehnologije u skladištu.

Keywords: autonomous mobile robots, smart warehouses, AGV system

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba AMR i AGV sustava.....	25
---	----

11. POPIS SLIKA

Slika 1. Unaprijed programirani robot	4
Slika 2. Humanoidni robot Ameca.....	5
Slika 3. Autonomni mobilni robot	6
Slika 4. Teleoperacijski robot za pronalaženje mina	6
Slika 5. Roboti korišteni u industriji proizvodnje.....	7
Slika 6. Poljoprivredni robot za kultivaciju	8
Slika 7. Machine Speculatrix - prvi tip robota.....	9
Slika 8. Moderni AMR-ovi tvrtke inVia.....	10
Slika 9. Roboti prve generacije	11
Slika 10. Roboti druge generacije.....	11
Slika 11. Roboti treće generacije	12
Slika 12. Autonomni mobilni robot prevozi paletu	13
Slika 13. Uporaba AMR-ova u skladištu	14
Slika 14. Mobilni robot MiR100.....	15
Slika 15. Vrste AMR-ova i primjeri primjene	17
Slika 16. Sustav izbjegavanja prepreka	18
Slika 17. Princip rada navigacije autonomnih mobilnih robota.....	20
Slika 18. Sustav detekcije prepreka	21
Slika 19. Navigacija u skladištu s navigacijskim skenerima LiDAR	22
Slika 20. AVG i AMR kontrola	24
Slika 21. Inženjeri tvrtke Gideon Brothers	27
Slika 22. Primjer pametnog skladišta.....	28
Slika 23. Princip rada pametnog skladišta	30
Slika 24. Sustav WMS	32
Slika 25. Značajke WMS-a.....	33
Slika 26. RFID tehnologija u logistici	36
Slika 27. Real-Time Location System	37
Slika 28. RFID tehnologija u skladišnom sustavu	38

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij, Mehanizacija

Diplomski rad

Autonomni mobilni roboti u pametnom skladištu

Gabrijel Tušek

Sažetak:

U radu su objašnjeni sustavi autonomnih mobilnih vozila u skladištima. Prikazana je i objašnjena svrha korištenja AMR sustava, njihov razvoj kroz povijest te način korištenja. Analizirani su oblici navigacije pomoću koje autonomni mobilni roboti određuju svoju rutu te izbjegavaju prepreke. Prikazana je i objašnjena usporedba sustava AMR i AVG. Zatim su pojašnjena pametna skladišta i sustavi koji se u njima koriste. Objašnjen je sustav upravljanja skladištem te razlozi zbog kojih se takav sustav uvodi u skladišne objekte. Prikazana su i objašnjena načela rada takvog sustava te troškovi uvođenja ovisno o veličini skladišta. Objašnjeno je korištenje radio-frekvencijske tehnologije i slikovito su prikazana načela rada rfid tehnologije u skladištu.

Ključne riječi: autonomni mobilni roboti, pametna skladišta AVG sustav

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: doc.dr.sc. Domagoj Zimmer

Broj stranica: 51

Broj slika: 28

Broj tablica: 1

Broj literaturnih navoda: 71

Broj priloga: -

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Luka Šumanovac, predsjednik
2. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, mentor
3. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
University Graduate Studies, Mechanization**

Graduate thesis

Autonomous mobile robots in smart warehouses

Gabrijel Tušek

Summary:

The paper explains the systems of autonomous mobile vehicles in warehouses. The purpose of using AMR systems, their development through history and the way of using them are shown and explained. The forms of navigation by which autonomous mobile robots determine their route and avoid obstacles are analyzed. A comparison of the AMR and AVG systems is shown and explained. Then, smart warehouses and the systems used in them were reinforced. The warehouse management system and the reasons why such a system is introduced in warehouse facilities are explained. The principles of operation of such a system and the costs of introduction depending on the size of the warehouse are presented and explained. The use of radio-frequency technology is explained and the principles of RFID technology work in the warehouse are illustrated.

Key words: autonomous mobile robots, smart warehouses, AGV system

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: pHD assistant professor Domagoj Zimmer

Number of pages: 51

Number of figures: 28

Number of tables: 1

Number of references: 71

Number of appendices: -

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. full professor Luka Šumanovac, president
2. pHD assistant professor Domagoj Zimmer, mentor
3. full professor Tomislav Jurić, član

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.

