

# Primjena robota u skladišnom poslovanju

---

Vukelić, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:061904>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Diplomski rad br. 061/OMiL/2020**

## **PRIMJENA ROBOTA U SKLADIŠNOM POSLOVANJU**

Davor Vukelić, 1087/336D

Koprivnica, listopad 2020. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODIEL	Odjel za logistiku i održivu mobilnost		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Održiva mobilnost i logistika		
PRISTUPNIK	Davor Vukelić	MATIČNI BROJ	1087/336D
DATUM	28.09.2020.	KOLEGIJ	Upravljanje lancima opskrbe
NASLOV RADA	Primjena robota u skladišnom poslovanju		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Role of robots in warehouse business		
MENTOR	dr.sc. Saša Petar	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Krešimir Buntak, predsjednik povjerenstva		
	2. doc.dr.sc. Saša Petar, mentor i član povjerenstva		
	3. doc.dr.sc. Predrag Brlek, član povjerenstva		
	4. doc.dr.sc. Miroslav Drljača, član povjerenstva (zamjena)		
	5.		

## Zadatak diplomskog rada

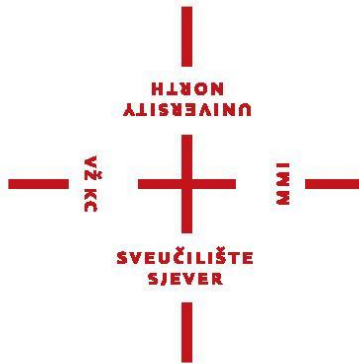
BROJ	061/OMIL/2020
OPIS	

Tema ovog završnog rada je primjena robota u skladišnom poslovanju. Hipoteza rada je nužnost primjene novih tehnologija, kao što je robotska, u skladišnom poslovanju kako bi se kvalitetno odgovorilo na nove zahtjeve u poslovanju. U radu će biti opisan proces automatizacije i upotreba robota u skladišnom poslovanju, kao odgovor tvrtki na nove uvjete u poslovanju izazvanih, u prvom redu, rastom online trgovine, te nedostatkom i velikom fluktuacijom radne snage. Shodno temi, rad će biti podijeljen u sljedeće cjeline: 1. Uvod, 2. Skladišno poslovanje, 3. Automatizacija u logistici, 4. Roboti u skladišnom poslovanju, 5. Studije slučaja proizvodnje i primjene robota u skladištima; 6. Rezultati istraživanja i 7. Zaključak

Na potrebe izazvane rastom poslovanja logističkih tvrtki nadovezuje se razvoj tehnologija vezanih uz razvoj robotske industrije, koji je omogućio sigurnu i učinkovitu primjenu robota u skladišnom okruženju. U istraživanju su obuhvaćene hrvatske tvrtke Gideon Brothers i Romb Technologies, specijalizirane za razvoj i proizvodnju autonomnih robotskih rješenja primjenjivih na skladišno poslovanje, te studije slučaja koje obuhvaćaju njihove korisnike. U radu su korištene metode analize, deskripcije, komparacije, klasifikacije, induktivna i deduktivna metode, metoda kompilacije, te intervjuiranja.

ZADATAK URUČEN	28/9/20	POTPIS MENTOR	
----------------	---------	---------------	---





# Sveučilište Sjever

Održiva mobilnost i logistika

Diplomski rad br. 061/OMiL/2020

## PRIMJENA ROBOTA U SKLADIŠNOM POSLOVANJU

**Student**

Davor Vukelić, 1087/336D

**Mentor**

doc. dr. sc. Saša Petar

Koprivnica, listopad 2020. godine



## **Sažetak**

Tema ovog završnog rada je primjena robota u skladišnom poslovanju. Hipoteza rada je nužnost primjene novih tehnologija, kao što je robotska, u skladišnom poslovanju kako bi se kvalitetno odgovorilo na nove zahtjeve u poslovanju. U radu će biti opisan proces automatizacije i upotreba robota u skladišnom poslovanju, kao odgovor tvrtki na nove uvjete u poslovanju izazvanih, u prvom redu, rastom online trgovine, te nedostatkom i velikom fluktuacijom radne snage. Na potrebe izazvane rastom poslovanja logističkih tvrtki nadovezuje se razvoj tehnologija vezanih uz razvoj robotske industrije, koji je omogućio sigurnu i učinkovitu primjenu robota u skladišnom okruženju. U istraživanju je obuhvaćena hrvatska tvrtka Gideon Brothers, specijalizirana za razvoj i proizvodnju autonomnih robotskih rješenja primjenjivih na skladišno poslovanje, te studija slučaja koja obuhvaća njihovog korisnika. U radu su korištene metode analize, deskripcije, komparacije, klasifikacije, induktivna i deduktivna metode, metoda kompilacije, te intervjuiranja.

Ključne riječi: logistika, skladišno poslovanje, automatizacija, robot, robotizacija

## **Abstract**

### **Role of robots in warehouse business**

The topic of this final paper is the application of robots in the warehousing business. The work hypothesis is the necessity of applying new technologies, such as robotic, in the warehousing business in order to respond well to new business requirements. The paper will describe the process of automation and the use of robots in warehousing, as a response to new business conditions caused, primarily by the growth of online commerce, and the lack and large fluctuation of the workforce. The needs caused by the growth of logistics companies are followed by the development of technologies related to the development of the robotics industry, which has enabled the safe and efficient application of robots in the warehousing environment. The research includes the Croatian company Gideon Brothers, which specializes in the development and production of autonomous robotic solutions applicable to warehousing, and a case study that includes their user. The methods of analysis, description, comparison, classification, inductive and deductive methods, compilation method, and interviewing were used in the paper.

Keywords: logistics, warehousing, automation, robot, robotization

## **Popis korištenih kratica**

CLM- The Council of Logistics Management

AS/RS - Automated Storage and Retrieval System

WMS - Warehouse Management System

RF - Radio Frequency

P2G - Person-to-Goods

G2P - Goods-to-Person

WCS - Warehouse Control System

WES - Warehouse Execution System

AGV - Automated Guided Vehicle

MIT – Massachusetts Institute of Technology

AI - Artificial intelligence

B2B - Business-to-business

IoT - Internet of Things

3D - 3 dimensional

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

ICRA - International Conference on Robotics and Automation

ROS - Robot Operating System

AMR - Autonomous Mobile Robots

RFID - Radio-frequency identification

UAV - Unmanned Aerial Vehicles

MRO- Maintenance, Repair and Operations

2D – 2 dimensional

LiDAR - Light Detection and Ranging

Li-Ion - Lithium-ion

3PL - Third Party Logistics



## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. SKLADIŠNO POSLOVANJE</b> .....	3
<b>2.1. Osnove logistike</b> .....	3
<b>2.2. Skladišta kao dijelovi lanca opskrbe</b> .....	6
<b>3. AUTOMATIZACIJA</b> .....	9
<b>3.1. Povijest automatizacije</b> .....	11
<b>3.2. Primjena automatizacije u skladišnom poslovanju</b> .....	12
<b>4. ROBOTI U SKLADIŠNOM POSLOVANJU</b> .....	17
<b>4.1. Povijest robota</b> .....	17
<b>4.2. Razlozi intenzivnijeg razvoja</b> .....	21
<b>4.3. Razvoj robotske tehnologije</b> .....	24
<b>4.4. Vrste i namjena robota u skladišnom poslovanju</b> .....	26
<b>4.5. Primjena robota u svijetu</b> .....	30
<b>5. RAZVOJ I PROIZVODNJA ROBOTA U HRVATSKOJ</b> .....	34
<b>5.1. Gideon Brothers</b> .....	34
<b>5.1.1. Proizvodi</b> .....	36
<b>5.1.2. Projekti</b> .....	39
<b>5.2. Studija slučaja: DB Schenker</b> .....	42
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	47
<b>Literatura</b> .....	51
<b>Popis slika, grafikona i tablica</b> .....	55

# 1. UVOD

Skladišno poslovanje neizostavni je dio lanca opskrbe, te je zastupljeno u velikom broju njegovih karika. Razvojem poslovanja i povećanjem razine usluge koje skladišta pružaju svojim klijentima, vanjskim ili za ostale sektore unutar tvrtke, uvedene su nove skladišne operacije koje se sprovede po određenoj metodologiji. Trendovi u trgovini, sa rastom maloprodaje, utječu na skladišno poslovanje povećanjem obujma frekvencije materijala i operacija. Takav način poslovanja zahtjeva veću efikasnost u manipulaciji materijalom kako skladišta ne bi postala uska grla lanca opskrbe. Većina operacija pogodna su za obavljanje određenom vrstom mehanizacije, a povezivanjem mehanizacije sa sustavom upravljanja postiže se automatizirani sustav. Osnovni razlozi upotrebe mehanizacije i automatizacije su povećanje učinkovitosti, kvalitete i sigurnosti, te smanjenje troškova proizvodnje i potreba za radnom snagom.

Napretkom tehnologije omogućena je iduća faza automatizacija, robotizacija operacija. Upotreba robota u skladišnom poslovanja tema je ovog rada i u radu će biti prikazani osnovni tipovi robotske tehnologije korištene u skladišnom poslovanju, njihova namjena i povijest. Osim napretka tehnologije, na upotrebu robota u skladišnom poslovanju veliki utjecaj imaju upravo poslovne prilike koje naprednu tehnologiju stavljaju u prvi plan kao rješenje da se adekvatno odgovori novim zahtjevima u poslovanja, što je i hipoteza ovog diplomskog rada.

Rad je strukturiran u šest poglavlja sa ciljem da se objasni razvoj poslovanja, bitni faktori koji na poslovanje utječu i tehnologija, za kojom se predviđa sve veća potražnja ali i pred kojom je period dokazivanja na operativnom nivou.

U prvom, uvodnom, poglavlju predočene su tema i hipoteza rada sa naznačenim bitnim faktorima i ciljevima.

Drugo poglavlje pobliže objašnjava skladišno poslovanje kao dio logistike i pozicionira skladišta u lancu opskrbe sa njegovom namjenom, funkcijama i razvojem.

Treće poglavlje odnosi se na automatizaciju gdje je objašnjen sam pojam i smjerovi razvoja, uz uvjete poslovanja koji utječu na povećanje potrebe za automatizacijom. Također u poglavlju su opisani povijest automatizacije i primjena automatizacije u skladištima.

U četvrtom poglavlju predstavljene su roboti u skladišnom poslovanju. Uz povijest robotske industrije, objašnjeni su i glavni akceleratori razvoja koji se ogledaju u smjerovima razvoja poslovanja i razvoja tehnologije.

U petom poglavlju navodi se nekoliko hrvatskih tvrtki koje se bave razvojem i proizvodnjom robotskih rješenja. Posebno je predstavljena tvrtka Gideon Brothers, koja je uključena u istraživanje za rad, te je opisan njihov razvoj, proizvoda i projekt implementacije u tvrtki DB Schenker.

U šestom poglavlju iznesen je osvrt na tematiku i zaključna razmišljanja.

## 2. SKLADIŠNO POSLOVANJE

Skladišno poslovanje je dio logističkog sustava, odnosno sustava prostorno- vremenske transformacije dobara. Logističkim sustavom, osim dobara, kreću se ljudi, informacije i energija, te je povezanost procesa kretanja i zadržavanja od velike važnosti.

Logistički sustavi mogu biti različito strukturirani, ovisno o kompleksnosti:

- jednostupanjski logistički sustav, sa izravnim tokom od točke otpreme do isporuke,
- višestupanjski logistički sustav, u kojem se dobra zadržavaju u barem jednoj točki
- kombinirani logistički sustav, sa karakteristikama jednostupanjskog i višestupanjskog logističkog sustava

U sustavima logističke industrije najvažniji funkcijski podsustavi logističkog sustava su (Zelenika, 2005):

1. Sustav trgovinske logistike
2. Sustav pripreme predmeta za distribuciju
3. Sustav upravljanja zalihama
4. Sustav transporta i prometa
5. Sustav logističke distribucije

Promatra li se zastupljenost skladišta unutar logističkog sustava, može se primjetiti da je skladišno poslovanje integrirano u veliki broj elemenata sustava od dobavljača sirovina, preko proizvodnje i distribucije do prodaje.

### 2.1. Osnove logistike

Logistika postoji od kad postoji i civilizacija. Sa razvojem civilizacije razvija se i logistika. Postoji prilično puno teorija kako je logistika dobila ime. Također postoje i različita tumačenja izvornog značenja riječi logistika. U etimološkom pogledu korijen riječi potiče od grčke riječi logos koja ima sljedeća značenja: (raz)um, odnos, pojam, razlog. Logos je nauka o zakonima mišljenja, ispravnom rasuđivanju i zaključivanju. U riječi logistika naglašen je predmetak logi. On označava nešto u vezi rasuđivanja i mišljenja. Prema drugoj verziji riječ logistika potiče od grčke riječi što

znači nauka o računanju i prebrojavanju pomoću slova. Logistika se najviše primjenjivala u vojsci. Kroz mnoge ratove u povijesti pokazalo se kako briga o opskrbljivanju jedinica predstavlja jedan od ključnih uvjeta kako bi se rat naposljetku i pobijedio. Sa željom za širenjem teritorija zemlje ratovi su se povećavali na globalnu razinu, te samim time se i put opskrbe jedinica povećavao. U Drugom svjetskom ratu je to najbolje vidljivo gdje su saveznici morali pronaći način kako bi opskrbili jedinice iz SAD-a sve do Europe.

Tijekom vijetnamskog i korejskog rata, vojna logistika dosegla je vrlo visoku razinu, što je privuklo pažnju znanstvenika koji su se bavili problemima menadžmenta. Oni su nastojali primijeniti logistiku na proizvodnju te na tržište. Vojna logistika utemeljena je na vojno-političkim kriterijima koji se odnose na smještaj i opskrbu vojske. Bez obzira koliki značaj logistika ima u današnjem svijetu i društvu, ne pridaje joj se dovoljno pažnje. Kroz povijest, poduzeća su ulagale ogroman napor u proizvodnju određenog materijala, no vrlo su malo razmišljale o kretanju istog. Menadžeri su prepoznali transport i skladištenje kao neophodnu stavku u organizaciji, ali su ih doživljavali kao tehnička pitanja koja ne zaslužuju previše pažnje. Sve se promijenilo u periodu od 1970. do 1980. kada je na osnovu raznih istraživanja utvrđeno da kretanje i skladištenje materijala obično iznosi 15-20% prihoda poduzeća (Regodić, 2010). Logistika je zahvaljujući tim istraživanjima identificirana kao vrlo skupo područje djelatnost u kojoj poduzeća mogu napraviti znatne uštede i u financijskom i vremenskom smislu.

Logistika se može definirati na više načina, jedan od njih je i definicija prema Vijeću Europe, a glasi: *"Logistika se definira kao upravljanje tokovima robe i sirovina, procesima izrade završenih proizvoda i pridruženim informacijama od točke izvora do točke krajnje uporabe u skladu s potrebama kupca. U širem smislu logistika uključuje povrat i raspolaganje otpadnim tvarima."*

The Council of Logistics Management (CLM) definiralo je logistiku kao: *"Proces planiranja, implementacije i kontrole efikasnog i efektivnog tijeka i skladištenja materijala (sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda), usluga i povezanih informacija od točke izvora do točke potrošnje u svrhu zadovoljenja zahtjeva korisnika."*

Imajući na umu da je logistika prepoznata kao područje djelatnosti gdje je ušteda ostvariva (financijski i skraćivanjem rokova, op. a.), na nju se vrši pritisci. Postoje mnogi razlozi zbog kojih poduzeća stalno unaprjeđuju upravljanje svojim lancima opskrbe, a neki od njih jesu (Regodić, 2010):

- Kupci su obrazovaniji (Zahtijevaju veću kvalitetu, niže cijene te bolju uslugu);
- Oštrija konkurencija (Poduzeća se trude prepoznati svaku mogućnost koja bi im pomogla da ostanu konkurentna);
- Promjena snaga u lancu opskrbe (Veliki maloprodajni lanci zahtijevaju od svojih dobavljača prilagođavanje logistike);
- Druge promjene u maloprodajnim lancima (24-satni rad, kućne dostave, tržišni centri izvan granica grada, internet kupovina);
- Opseg međunarodne trgovine raste (Otvaraju se tržišta kao što su Europska unija i Sjeverna Amerika);
- Poduzeća uvode nove upravljačke koncepte u poslovanje (Just in time, fleksibilna proizvodnja, masovno prilagođavanje);
- Poduzeća koriste outsourcing (Osnovne aktivnosti odrađuju sami, periferne aktivnosti prepuštaju vanjskim suradnicima);
- Odnos prema transportu se mijenja (Povećane gužve, ekološka zagađenost, privatizacija željeznica).

Danas se logistika u razvijenom svijetu bavi problemima osiguravanja svih uvjeta potrebnih za uspješno funkcioniranje poslovnog, vojnog ili tehničkog područja. Proučava sve elemente integralne logističke podrške nužne da bi sustav izvršavao svoju funkciju na propisan i željen način. Integralna logistička podrška obuhvaća elemente tehničkog karaktera (razvoj, proizvodnja, transport, opskrba, održavanje itd.), ali i elemente općeg ili socijalnog (raspoloživost ljudstva, obuka, uvjeti okoline), kao i ekonomskog karaktera (troškovi, obrtna sredstva, rentabilnost, profit). Zadatak logistike je integracija materijalnih, informacijskih i energetske tokova u poslovnim, proizvodnim, uslužnim i vojnim organizacijama. Ona je suvremena poslovna funkcija kojom se identificiraju, osiguravaju, prate i kontroliraju neophodni resursi. Logistika konkretno podržava postupak upravljanja, tako što u intergralnom obliku osigurava kvalitativnu, kvantitativnu i vremensku raspoloživost elemenata sustava kojima se upravlja.

Proces globalizacije pojavljuje se u svim sferama života. Sa svojim kvantitativnim i prostornim dimenzijama utječe na zbivanja u svijetu. Upravo radi takvih uvjeta i sve oštrije konkurencije poduzeća se koncentriraju na svoju osnovnu djelatnost, a pojedine pomoćne ili dodatne dijelove proizvodnje ili usluga prosljeđuju drugima.

## **2.2. Skladišta kao dijelovi lanca opskrbe**

Skladišno poslovanje dio je lanca opskrbe sa svojom ulogom zadržavanja i čuvanja dobara u propisanim uvjetima, kako bi se spriječili bilo kakvi štetni utjecaji na kvalitetu i kvantitetu dobara.

Logistički lanac je skup, odnosno niz međusobno i interesno povezanih karika, odnosno logističkih partnera i logističkih aktivnih sudionika koji omogućavaju brze, sigurne i racionalne procese proizvodnje logističkih proizvoda. Osnovni elementi takvih lanaca su karike. Svaka karika u logističkom lancu predstavlja jedan aktivan logistički subjekt u procesu proizvodnje logističkih proizvoda, primjerice: dobavljači- prodavatelji- špediteri- prijevoznici- skladištari- distributeri- kupci- potrošači (Zelenika i Pupavac, 2008).

Prema tome može se zaključiti da su skladišta, sa logističkog aspekta, fizički objekti prihvaćanja i otpreme dobara unutar logističke mreže, sa specifičnom metodologijom aktivnosti koje se sprovode u procesima skladištenja.

Upravljanje skladištem je sastavni dio ukupnog logističkog sustava i jedan je od bitnih čimbenika uspješnog upravljanja poslovnom politikom i strategijom poslovanja proizvodnih i trgovačkih poduzeća (Andrijanić i Grgurević, 2011).

Funkcija skladišta i pored uobičajenih aktivnosti prihvata, zadržavanja i otpreme, može se promatrati i po široj ulozi u cijelokupnom poslovanja kao točka balansiranja između proizvođača i kupaca.

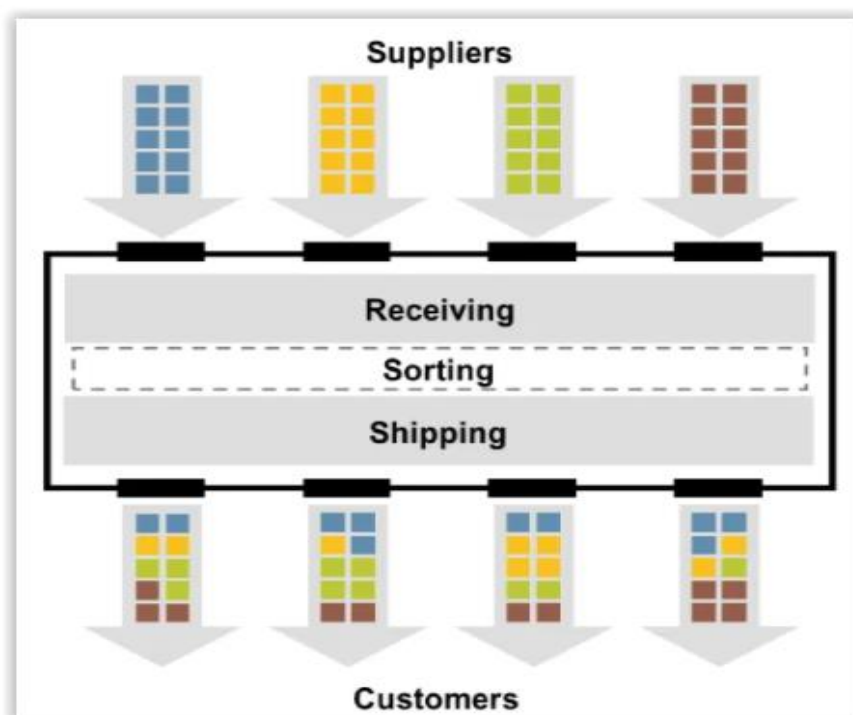
„Skladište izravnavava neujednačenost ponude i potražnje. Kad ponuda premašuje potražnju, skladište pohranjuje proizvod u iščekivanju zahtjeva kupaca. Kad potražnja premašuje ponudu skladište može ubrzati kretanje proizvoda do kupaca osiguravajući dodatne usluge, kao primjerice označivanje cijena, pakiranje proizvoda, ili montažni sklop.“ (Hruškar i Šiljeg, 1985).

Upravo na standardnim funkcijama skladišta razvili su se distribucijski centari, koji nudi usluge s još većom dodanom vrijednošću. Umjesto da nudi statičku pohranu, distribucijski centar nudi velik

broj usluga za klijente, bez obzira da li su to vanjski kupci ili unutarnji odjeli tvrtke. Dobro vođeni i organizirani distribucijski centar pruža usluge kao što su prijevoz, zaprimanje narudžbe, sortiranje, skladištenje, pripreme narudžbe, označavanje, sekundarno opremanje itd.

Snažniji trend razvoja logističko – distribucijskih centara počeo je između 70-ih i 80-ih. U tom razdoblju se intezivno razvija poduzetništvo te se počelo tražiti više zemljišta za proizvodnju, opremljenih odgovarajućom infrastrukturom, prominentim vezama sa unutrašnjošću, poreznim, fiskalnim i radnim olakšicama te sa dobrim ekološkim standardima (Kesić, Jugović i Perko, 2004). Distribucijski centar predstavlja suvremeni objekt u kojem se prihvaća, čuva, doraduje i priprema roba za daljnju distribuciju do kupaca. On je sastavni dio trgovinske infrastrukture, a razvio se iz tradicionalne funkcije skladišta, tako što se povećava broj funkcija, primjenjuju suvremena načela organizacije rada, nove tehnike i tehnologije, omogućuje visoka koncentracija robe i brz protok u distribucijskim kanalima te ravnomjerno i racionalno napajanje maloprodajnih točaka (Baletić, 2003).

Slika 1. Distributivni centar



Izvor: <https://transportgeography.org/>



Osnovu distribucijskih centara čine specijalizirana i univerzalna skladišta u kojima se obavljaju prethodno navedene manipulacije u vezi s uskladištenom robom. U suvremenim, u pravilu visokoregalnim skladištima sve su manipulacije robom automatizirane, a obavljaju ih informatički operatori. Moraju raspolagati funkcionalnim objektima, suvremenom mehanizacijom za horizontalno, vertikalno i koso manipuliranje svim vrstama roba koje se distribuiraju različitim vrstama transportnih sredstava, mnogobrojnom opremom, hardverima, softverima (Zelenika, 2005).

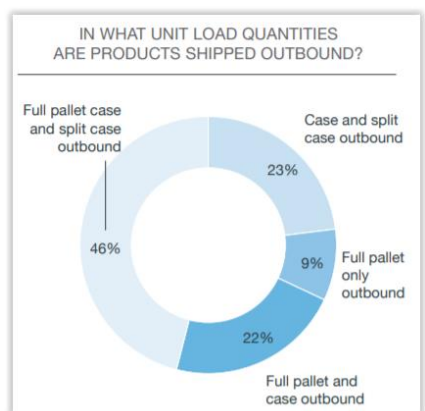
Napretkom tehnologije i pojavom novih izazova u poslovanju, skladišno poslovanje, kao i cijela logistika, su evoluirali. Danas je to područje primjene najnovijih tehnologija kao što su automatizacija i robotika.

### 3. AUTOMATIZACIJA

Automatizacija je „upravljanje strojevima, procesom ili sustavom s pomoću mehan. i elektroničkih uređaja koji zamjenjuju ljudski rad; nadziranje i donošenje odluka u poslovima koji su za čovjeka previše složeni, opasni ili zamarajući“ (Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje). Kako i njena definicija sugerira, automatizacija skladišta i distributivnih centara također ima dva smjera razvoja. Jedan smjer je automatizacija postupka donošenja odluka, što podrazumijeva upute sustava o lokacijama i uvjetima čuvanja artikala, načinu izdavanja i popunjavanja zaliha. Drugi smjer je automatizacija procesa kretanja robe distributivnim centrom upotrebom strojeva.

Trend automatizacije, osim razvoja tehnologije, potaknut je operativnim izazovima sa kojima se susreću logističke tvrtke. Porast maloprodaje i promjene u navikama kupaca promijenili su uvjete poslovanja i učinili ih mnogo kompleksnijima. Maloprodajni sektor posebno je kompleksan i zbog velikog porasta online trgovine. Samo u SAD-u u 2017. godini obujam online trgovine iznosio je 453 milijarde USD, što je porast od 16% u odnosu na 2016. godinu (Kyle Ceraol, 2019. prema podacima Ministarstva trgovine SAD-a). Veliki porast online trgovine ima veliki utjecaj na tradicionalno poslovanje koje podrazumijeva otpremu paletizirane robe iz distributivnih centara, te ga u sve većem postotku zamjenjuje obrada većeg broja manjih narudžbi. Prema istraživanjima (Peerless Research Group), u SAD-u samo 9% distributivnih centara temelji svoje poslovanje isključivo na manipulaciji paletizirane robe, dok veći broj ih se bavi i manipulacijom manjih jedinica (Phipps, 2017).

Slika 2. Postotak korištenih utovarnih jedinica u SAD-u, 2016

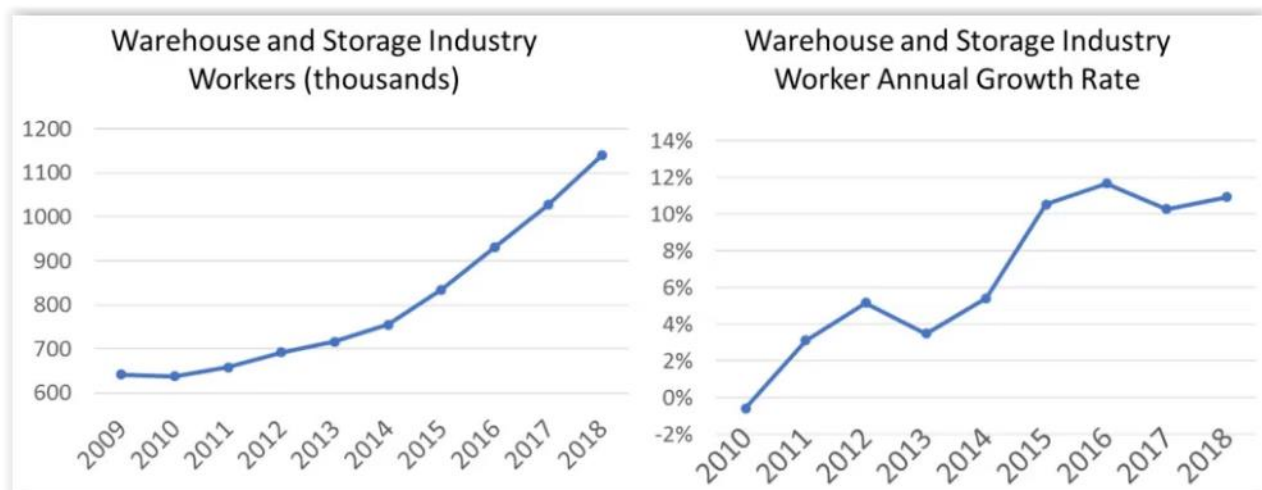


Izvor: <https://westernacher-consulting.com/>

Uz veći broj i složenijim nalogima za obradu raste i složenost poslovanja. Mogućnost pogreške je veća i rastu količine povrata proizvoda i njihov trošak. Porast, u prvom redu online, trgovine uzrokovao je i porast veličine skladišnog prostora. Prosječna veličina skladišta 2008. godine iznosila je 9000 m<sup>2</sup> i do 2018. povećana je na 13500 m<sup>2</sup>, a sve veća je potražnja za velikim skladišnim prostorima iznad 50000 m<sup>2</sup> (Phipps, 2020). Veličina skladišta pomaže održati korak sa sve većim brojem skladišnih jedinica koje je potrebno obraditi ali i povećava troškove i udaljenosti unutar objekata koje je potrebno savladati.

Povećanjem opsega poslovanja dolazi do veće potrebe za radnom snagom, a kako je cijena rada sve veća automatizacija postaje sve privlačnija tvrtkama. Prema podacima Ureda za statistiku SAD-a, ukupan broj zaposlenih na skladišnim poslovima bilježi rast od 11% u periodu od 2015. do 2018. godine (Reiser, 2019).

Graf 1. Broj zaposlenih na poslovima skladištenja i godišnji rast



Izvor: <https://logisticsviewpoints.com/>

Povećanju cijeni rada doprinosi i veća složenost poslova za koju su potrebni kvalificirani radnici. Do 2016. godine prosječna plaća po satu porasla je za 16% u odnosu na 2006. godinu (Westernacher-consulting, 2017. prema Birou rada SAD-a).

Prema podacima za 2019. godinu, postotak skladišta u kojima se postupak rukovanja materijalima i dalje obavlja ručno iznosi 72%, što je smanjenje od 4% u odnosu na 2018. godinu, dok je upotreba AS/RS sustava porasla sa 12% na 15% u istom razdoblju, a upotreba robotskih sustava sa 3% na 4% (Michel, 2019).

### 3.1. Povijest automatizacije

Automatizacija je nastavak industrijskog razvoja na mehanizaciji koja vuče početke u industrijskoj revoluciji, a područje je primjene znanja iz elektronike, strojarstva i računarstva. Mehanizacija (prema grč. *μηχανή*: stroj) podrazumijeva zamjenu ljudskog rada strojevima i uređajima radi ubrzanja, poboljšanja, povećanja i pojeftinjenja proizvodnje te olakšanja rada (Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje).

Termin automatizacija dolazi od pojma automatika. Pojam automatika (od grčke riječi *automato* što se događa samo od sebe), odnosi se na znanstveno-tehnička disciplina o teoretskom i praktičnom zasnivanju, konstrukciji, funkcioniranju i održavanju uređaja i sustava koji rade bez izravna čovjekova sudjelovanja, a temelji se na fenomenu promatranja veličina procesa i automatskoga korektivnog djelovanja na procesna stanja i ulaze (Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje).

Mehaničke naprave pojavljuju se i puno prije industrijske revolucije ali nisu imale toliko veliki utjecaj na proizvodnju kao nakon nje.

Mehanički sat, koji predstavlja prilično složen sklop s vlastitim ugrađenim izvorom napajanja (uteg), razvijen je oko 1335. u Europi. Vjetrenjače, s mehanizmima za automatsko okretanje jedra, razvijene su tijekom srednjeg vijeka u Europi i na Bliskom istoku. Parni stroj predstavljao je veliki napredak u razvoju strojeva s pogonom i označio je početak industrijske revolucije. Tijekom dva stoljeća od uvođenja parnog stroja osmišljeni su pogonski motori i strojevi koji energiju dobivaju iz pare, električne energije te kemijskih, mehaničkih i nuklearnih izvora. Svaki novi razvoj u povijesti strojeva s pogonom donio je povećani zahtjev za upravljačkim uređajima kako bi iskoristili snagu stroja (Groover, 2002).

1913. Ford Motor Company predstavio je liniju za proizvodnju automobila koja se smatra jednim od pionirskih tipova automatizacije u proizvodnoj industriji. Prije toga, automobil je napravio kvalificirani i nekvalificirani radnik, a automatizacija proizvodnje poboljšala je Fordove proizvodne stope i povećala dobit. Montažna linija i masovna proizvodnja automobila bili su prvi takve vrste na globalnoj razini. Automatizacijom je smanjeno vrijeme sklapanja automobila s 12 sati po automobilu na otprilike jedan i pol sat po automobilu (Boisset, 2018).

Zahvaljujući nastanku i razvoju industrijske automatizacije u proizvodnim industrijama, svijet uživa u visokokvalitetnim proizvodima i boljoj iskorištenosti energije, resursa i sirovina.

### **3.2. Primjena automatizacije u skladišnom poslovanju**

Ovisno o implementiranim elementima i usvojenim procesima, razlikuje se stupanj automatizacije.

Četiri su razine automatizacije skladišta (Trottmann i Zhang, 2017):

#### **1. Niska automatizacija**

Nisko automatizirana skladišta su skladišta sa osnovnim sustavom evidentiranja zaliha koje se uglavnom služe tiskanim papirima u radim procesima. Zbog izostanka automatizacije radnici obično prevaljuju velike udaljenosti između skladišnih lokacija u izvršavanju skladišnih operacija.

#### **2. Automatizacija sustava**

Skladišta sa automatizacijom sustava u radu koriste sustav za automatizaciju donošenja odluka. Na razini automatizacije koristi se sustav upravljanja skladištem (WMS) za donošenje odluka o mjestu odlaganja / odabira predmeta i upravljanje procesima poput dekonsolidacije, VAS (usluge s dodanom vrijednosti) i kontrola kvalitete. Također optimizira odluke kada i tko izvršava zadatke. Automatizacija sustava obično uključuje upotrebu RF (radio frekvencijskih) terminala ili tehnologije upravljanja glasom za potvrdu radnji i slanja informacija WMS-u u stvarnom vremenu. Općenito, većina tvrtki bilježi oko 25% porasta ukupne produktivnosti, poboljšanje od 10-20% u iskorištenosti prostora i smanjenje sigurnosnih zaliha 15-30% nakon prelaska sa sustava koje koriste tiskani papir na ovu razinu automatizacije (Trottmann i Zhang, 2017. prema Hokey Min, 2015).

WMS također omogućuje skladištima da iskoristiti druge tehnologije izdavanja kao što su Pick-by-light. U Pick-by-light tehnici, redovi svjetla iznad lokacija pokazuju radnicima sa koje lokacije treba odabrati i koliko artikala odabrati, što čini postupak izdavanja brži i precizniji tijekom obrade više naloga. Prema statistikama Instituta za rukovanje materijalima, sustavi pick-to-light mogu poboljšati brzinu izdavanja za 30-50% (MHI, 2020). Uz to smanjuju pogrešku u odabiru stopa za 67% u odnosu na papir i olovku (Wu, Haynes, Guo i Starner, 2016).

### 3. Mehanizirana automatizacija

Mehanizirana automatizacija podrazumijeva skladišta u kojima nije samo logika automatizirana, već su također i kretanja dobara automatizirana. Sustav mehanizirane automatizacije postiže da radnici ne moraju prelaziti udaljenosti tražeći skladišne lokacije, model osoba robi (eng. Person-to-Goods ili P2G), nego sustav robu prevozi do radnika, model robe prema osobi (eng. Goods-to-Person ili G2P). Obzirom da na pronalaženje i prenošenje materijala otpada do 50% radnog vremena skladišnih zaposlenika (Cocozza, 2019), mehanizirana automatizacija može imati veliku ulogu u povećanju učinkovitosti skladišnih operacija. U mehaniziranoj automatizaciji uglavnom se koristi WCS (Warehouse Control System) sistem za upravljanje skladištem, a za manipulaciju materijalima uglavnom se koriste dvije tehnologije, konvejeri i automatski sustav za pohranu i dohvat.

#### Konvejeri/Transportne trake

Konvejeri su brz i učinkovit mehanički sustav za automatski transport tereta i materijala unutar proizvodnog područja ili skladišnog prostora. Tipični sustav sastoji se od valjaka preko kojih mogu biti položene transportne trake, spojene u zatvorenu petlju. Korištenje konvejera smanjuje se udaljenost koju zaposlenik mora prijeći i poboljšava se frekvencija izdavanja. Zaposlenik skladišta u prosjeku može doseći 60 do 80 izdanih stavaka u satu, upotreba konvejera može rezultirati stopom izdavanja od 300 odabira na sat (SSI Schaefer, 2014). Obično se transportni sustav sastoji od:

- 1) traka, valjci ili lanci koji vodoravno premještaju robu
- 2) liftovi koji vertikalno prenose robu
- 3) transferne jedinice koje mijenjaju smjer robe
- 4) sustav za rukovanje skladišnim jedinicama

Slika 3. Sustav konvejera



Izvor: <https://6river.com/>

#### Automatski sustav za pohranu i dohvat (AS/RS)

Sustav AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) sprema i preuzima spremnike ili palete u visokim policama koristeći automatizirane uvlače u rešetke ili regale. Vrste AS/RS automatiziranog skladišnog sustava razlikuju se ovisno o veličini materijala za pohranu (palete, redovi, kartoni), mehanizmu (dizalica, lift) i dubini (pojedinačno, dvostruko duboko). Sve vrste AS/RS istovremeno rješavaju dva najveća problema s kojima se skladišta suočavaju: iskorištavanje prostora i rukovanje dostupnošću. Automatski sustav za pohranu i dohvat povećava iskorištavanje prostora smanjenjem širine prolaza i vertikalno proširujući skladišni prostor. Sustav čini zalihe dostupnijima pošto je dohvata materijala potpuno automatiziran. AS/RS je obično povezan sa skladišnim lokacijama za izdavanje pomoću transportnih traka na kojima se vrši izdavanje materijala za narudžbe i pregledavanje ili upravljanje tijekom rada na WMS-u.

Slika 4. Sustav automatiziranog skladištenja i odlaganja



Izvor: <http://www.asrs-system.com/>

#### 4. Sofisticirana automatizacija

Sofisticirana razina automatizacije zahtijeva da sustav obavlja složenu logiku odlučivanja. Uz široku upotrebu automatizacije za transport paleta i skladišnih jedinica te WES (Warehouse Execution System) sistema upravljanja skladištem, u skladištima sofisticirane automatizacije koriste se i razne druge tehnologije od kojih su najzastupljenije automatske sortirnice i robotski sustavi za transport i rukovanje materijalima.

##### Automatsko sortirnice

Automatske sortirnice dodatno automatiziraju postupak višestrukog izdavanja identificiranjem, transportom i grupiranje proizvoda po nalogima za izdavanje. Ovisno o veličini i pakiranju robe, mogu se razmjestiti različite vrste sortiranja. Na primjer, neke sortirnice kontroliraju protok roba pomoću skočnih kotačića, dok drugi mogu koristiti nagibne ladice ili sekvencionalne transportere za odabir i izdvajanje materijala.



## Robotski sustavi

Robotski sustavi implementiraju se kako bi povećali produktivnost i preciznost u radu. Proizvode se u raznim veličinama od manjih, namijenjenih kao podrška zaposlenicima u skladištima, do robusnih jedinica namijenjenih manipulaciji tereta i preko 1000 kg. Robotski sustavi koriste se za izvršavanje brojnih zadataka kao što su transport, paletiziranje/depaletiziranje, pohranjivanje i izdavanje robe. Za transport robe unutar skladišta namijenjeni su automatski vođena vozila (eng. Automated Guided Vehicle ili AGV). AGV su vrhunski roboti koji premiještaju robu kroz autonomnu vožnju. Opremljeni su tehnologijom koja omogućava vizualno prepoznavanje i pametnim algoritmima koji im pomažu u transportu robe i samostalnog odlaska na stanicu za punjenje kada je to potrebno. AGV-ovi postoje desetljećima ali sada su ušli u širu upotrebu zahvaljujući poboljšanjima kroz noviju tehnologiju i postojećim trendovima. Vrsta sustava koja vrši operacije odabira manjih predmeta naziva se Robotic Picking Systems. Ovi roboti skeniraju i prepoznaju predmete na skladišnim lokacijama, a zatim ih izdvajaju u odgovarajuće spremnike. Oni donose visoku razinu preciznosti i trenutno su gornja granica automatizacije skladišta.

## 4. ROBOTI U SKLADIŠNOM POSLOVANJU

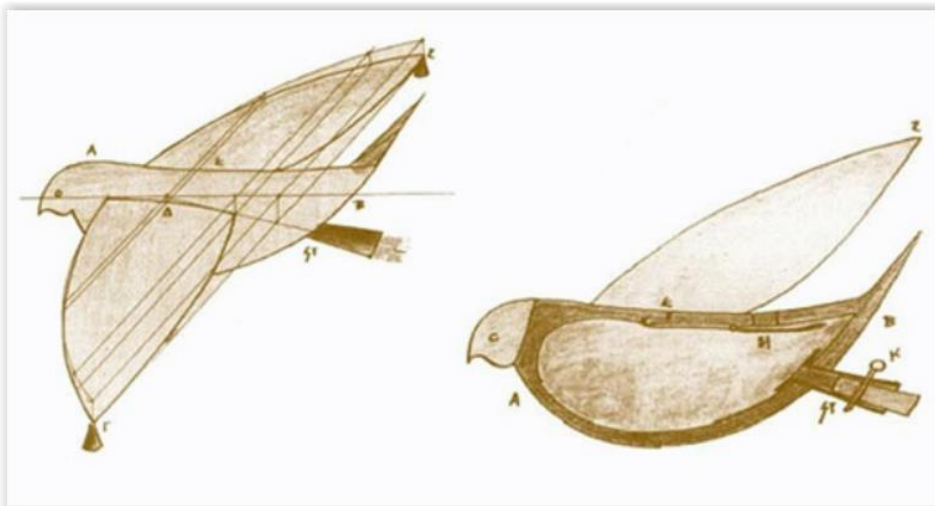
Upotreba robota u skladišnom poslovanju odnosi se na automatizaciju operacija skladišnih procesa kao što su transport, pohranjivanje i izdavanja materijala. Upotrebom robotike nastoji se poboljšati učinkovitost i točnost radnji te pridonjeti automatizaciji cijelog sustava. Za tu svrhu razvijena su razna rješenja za transport i manipulaciju materijalima tokom vremena.

### 4.1. Povijest robota

Roboti predstavljaju spajanje dva dugo prisutna trenda: napredak tehnologije s ciljem obavljanja našeg posla i korištenje sluga koji pružaju jeftin rad višim slojevima društva. U tom smislu, roboti su pokazatelj napretka tehnologije, ali i novija verzija robovskog rada koji su u proteklom stoljećima ljudi koristili kako bi iskoristavali druga ljudska bića (Ross, 2016).

Izraz „robot“ osmišljen je 1920. u drami „Rossumovi univerzalni roboti“, češkog pisca znanstvene fantastike Karel Čapeka. No samo ime ima dublje povijesne korijene. Etimološki korijeni riječi *robot* dolazi od dvije češke riječi: *rabota* („obavezan rad“) i *robotnik* („sluga“) kojima se po Čapekovoj zamisli opisuje nova klasa „umjetnih ljudi“ koji će biti stvoreni kako bi služili ljudima (Ross, 2016). Ipak, začetke razvoja robota treba tražiti u antičkoj Grčkoj. Koncepti slični robotu mogu se naći u 4. stoljeću prije Krista kad je grčki matematičar Arhita konstruirao mehaničku pticu koja je bila pogonjena parom.

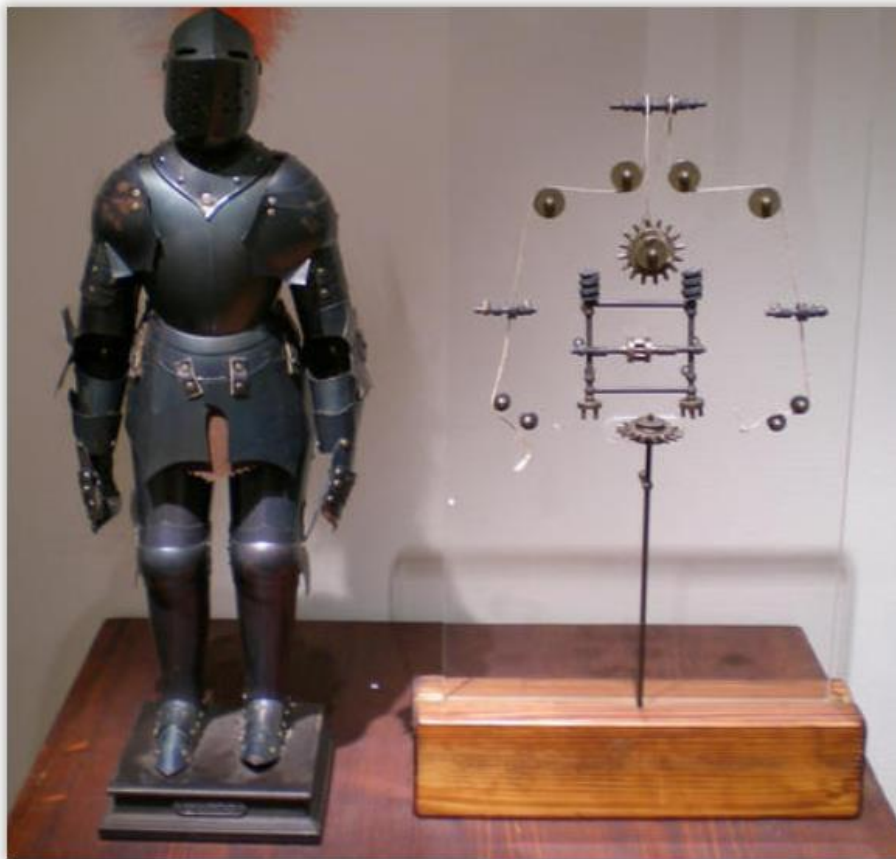
Slika 5. Antička mehanička ptica



Izvor: <https://www.ancient-origins.net/>

Prvi pravi oblici robota javljaju se krajem 15. stoljeća. Tada je Leonardo da Vinci izradio mehaničkog lava u prirodnoj veličini za kralja Luja XII. Lav je bio opremljen mehanizmom koji je otvarao njegov trup kako bi pokazao stilizirane ljiljane u čast Francuske monarhije. Jedan od prvih nacрта modernog robota izradio je također Leonardo da Vinci oko 1495. godine. Njegov robotski vitez sastojao se od oklopa u prirodnoj veličini, zupčanika, prijenosnih kotača i kablova, koji su mu trebali omogućiti samostalno izvođenje pokreta kao što su pomicanje glave i udova.

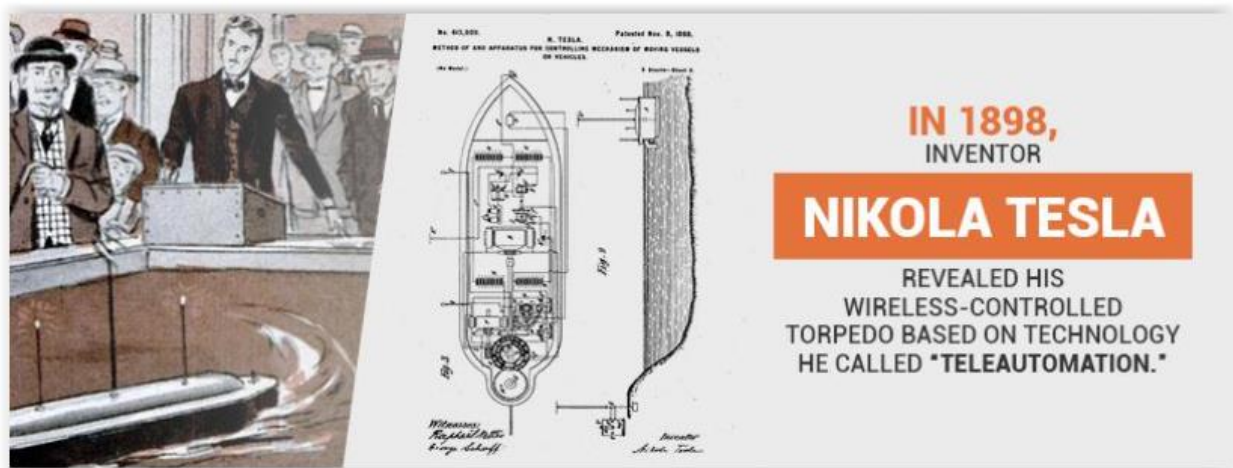
Slika 6. Model robota Leonarda da Vincija



Izvor: <https://www.zdnet.com/>

Tokom vremena konstruirani su mnogi zanimljivi izumi kao što je „The Digestin Duck“, automat Jacquesa de Vaucansona, izrađen 1739. godine, koji je mogao oponašati let pokrećući krila i „probaviti“ zrno, mehaničke lutke japanskog izumitelja Hisashige Tanake ili daljinski upravljani torpeda, koji je Nikola Tesla 1898. godine predstavio u Madison Square Gardenu nazvavši tehnologiju „tele-automation“.

Slika 7. Teslin bežični torpeda



Izvor: <https://www.ctemag.com/>

U njemačkom Dresdenu je 1810. godine Friedrich Kauffman izradi prvog humanoidnog robota, trubača metalne konstrukcije.

Termin „robotika“ prvi je upotrijebio ruski pisac znanstvene fantastike Isaac Asimov 1942. godine u priči „Runaround“. U svojim romanima robote je zamislio kao humanoidne bez emocija, programirane da zadovolje određene standarde. Temeljna tri zakona Asimove robotike bila su:

1. Robot ne smije povrijediti ljudsko biće ili da kroz nedjelovanje dopusti ljudskom biću da se povrijedi
2. Robot se mora pokoravati naredbama koje mu daju ljudi, osim kada su takve naredbe u suprotnosti s prvim zakonom.
3. Robot mora štiti svoje vlastito postojanje, sve dok se takva zaštita ne kosi se sa prva dva zakona

U kasnijim naslovima, kada su roboti preuzeli upravljanje čitavim planetom, Asimov je uveo i nulti zakon koji je glasio „Robot ne može naštetiti čovječanstvu ili nečinjenjem dopustiti da čovječanstvu bude nanescena šteta“.

Patent za prvi industrijski robot podnio je Georg Devol 1954. godine, u suradnji s Josephom Engelbergom. U početku je to bila robotska ruka sa glavnom zadaćom premiještanja dijelova, koja je u kombinaciji sa pokretnom montažnom trakom povećavala produktivnost u proizvodnji.

Nakon što je Devolu 1961. godine odobren patent za Unimate, primjena robota u industrijskim uvjetima brzo je napredovala. Iste je godine General Motors instalirao Unimate na svoju liniju za montažu u Ewingu u državi New Jersey. Nakon uspjeha Unimatea u General Motorsu, 1966. godine ušao je u serijsku proizvodnju. Šezdesetih godina prošloga stoljeća pojavile su se brojne inovacije i nadogradnje na osnovnoj ideji Devolove robotske industrijske ruke. 1968. godine Marvin Minsky, suosnivač MIT-ovog AI Laboratorija, stvorio je "ruku s pipcima" - robotsku 12-spojnu ruku koju je pokretala hidraulika i kojom se moglo upravljati pomoću kontrolera (McFadden, 2020).

Slika 8. Unimate – prvi industrijski robot



Izvor: <https://www.robotics.org/>

Napredak i uspješna implementacija nove tehnologije naročita je u sedamdesetim i početkom osamdesetih godina zahvaljujući velikim ulaganjima u automobilske industrije. Američke i japanske tvrtke prednjačile su u ulaganjima u novu tehnologiju. Krajem osamdesetih u SAD-u automobilska industrija ulazi u krizu, smanjuje se isplativost i većina američkih proizvođača robota prestaje sa radom. To Japan, čije tvrtke su i ranije mnogo ulagale u tehnologiju, ostavlja kao apsolutnog svjetskog lidera u robotskoj industriji.

Razvoj robota i robotike može se podijeliti u nekoliko faza (Maruna, Maruna i Barbic, 2014):

### 1. Roboti prve generacije

- automatski ponavljaju zadani pokret
- najbrojniji u tvorničkim pogonima
- upravljački sustav lako se prilagođuje ručnim operacijama
- uporaba: prešanje, zavarivanje i sl.

### 2. Roboti druge generacije

- mogućnost snalaženja u nepredvidljivim okolnostima radnog prostora - opremljeni su sensorima (osjetilima)
- od senzora dobivaju informacije
- snalaženje i postupci u radnom prostoru su programirani
- uporaba: rad na pokretnoj vrpci, montažnim operacijama, bojenju ...

### 3. Roboti treće generacije

- primjena raznolikih senzora i umjetna inteligencija
- opremljeni računalima i usavršenim programima
- sposobni su prepoznavati okolinu, analizirati svoje učinke i učiti iz svojih pogrešaka
- samostalno i inteligentno mijenjaju svoj način rada kako bi se prilagodili uvjetima rada i poboljšali radni učinak

## 4.2. Razlozi intenzivnijeg razvoja

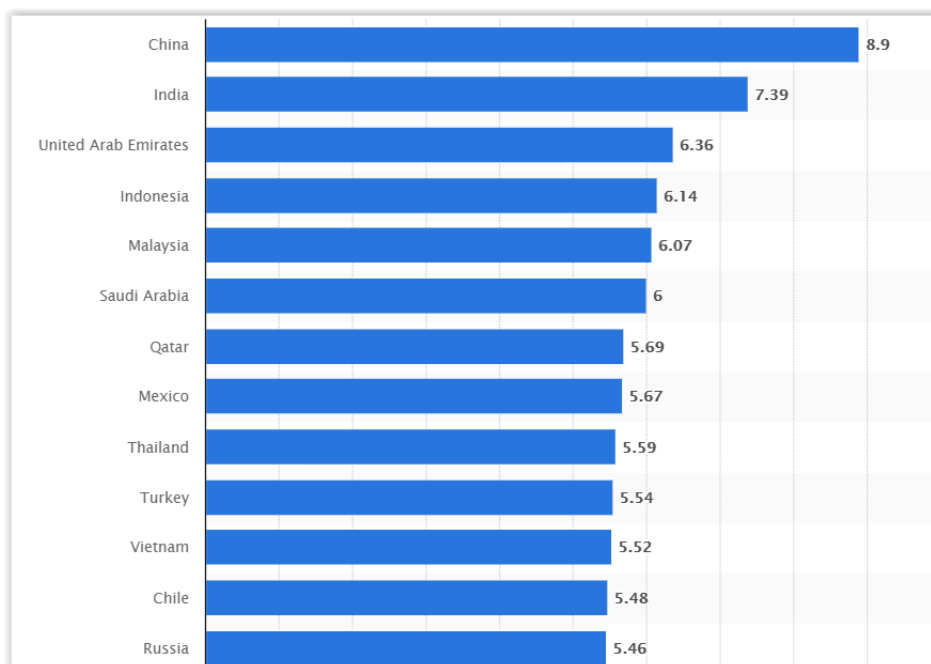
U logistici, uz razvoj tehnologije, interes kompanija za automatizaciju, pa tako i robotiku, intenziviran je iz više razloga. Možda najznačajnijih je deficit radne snage, što se pokazalo kao jedan od vodećih rizika poslovanja. Ne samo u razvijenim zemljama već i u ekonomijama u razvoju, demografski čimbenici i imigracijska politika imaju veliki utjecaj na tržište rada. Najbolji primjer takvog trenda je Japan.

Japan je dom najdugovječnijih stanovnika na Zemlji i ima najveću populaciju starog stanovništva od svih zemalja. Trenutno očekivano trajanje života u Japanu je 80 godina za muškarce i 87 godina za žene, a predviđa se da će tijekom sljedećih 45 godina narasti na 84 odnosno 91 godinu. Očekuje se da će se između 2010. i 2050. broj stanovnika Japana starijih od 65 godina povećati za 7

milijuna. Danas je 25 posto japanskog stanovništva starije od 65 godina. Predviđa se da će se taj udio povećati na 29 posto do 2020., te čak 39 posto do 2050 (Ross, 2016).

Zbog rasta tržišta potražnja za kvalitetnom radnom snagom je sve veća, a njezina dostupnost sve manja. Predviđanja rasta tržišta maloprodaje u Europi i SAD-u su po stopi od 10% godišnje, a u Aziji još i veće (RoboticsBiz, 2020). Takav ogroman rast ima direktan utjecaj na potražnju za radnom snagom u logistici i zbog činjenice da najveći udio otpada na online trgovinu koja standardo zahtijeva više radne snage po prodanoj jedinici proizvoda od klasične maloprodaje. Online trgovina podrazumijeva izdavanje, pakiranje, otpremu i dostavu na adresu svakog kupca za razliku od skupnih pošiljaka kojima se opskrbljuju maloprodajne poslovnice. Uz to, pošiljke realizirane online trgovinom neprestano se povećavaju, pa je tako danas uobičajena kupnja uređaja, namještaja i dijelova konstrukcija što dodatno opterećuje lanac opskrbe.

Graf 2. Porast tržišta logističkih usluga u 2020.



Izvor: <https://www.statista.com/>

Uz problem manjka radne snage, dodatan problem za kompanije predstavlja velika fluktuacija zaposlenika. Poslovi u logistici koji su uglavnom fizički zahtjevni, nisu atraktivni zaposlenicima i veliki broj ih odlazi u potrazi za manje zahtjevnim angažmanima. Za poduzeća to predstavlja dodatno opterećenje i izdatke koje moraju uložiti u oglašavanje, regrutiranje i edukaciju novih

djelatnika, pogotovo uzevši u obzir da godišnji obrt zaposlenika na, npr. skladišnim poslovima, može doseći i 40% (Gideon Brothers, 2019).

Vođene isključivo ekonomskim pokazateljima, kompanije su suočene su i sa rizikom rasta cijene rada. Zemlje koje se suočavaju sa najvećim rizikom zamlje su poput Kine koje su se oslanjale na jeftin rad za izgradnju svoje industrijske baze. Kako se napredak u robotici nastavlja, ono što se dogodilo s radnim mjestima u prerađivačkoj industriji u razvijenim zemljama, moglo bi se uskoro dogoditi zamljama u razvoju. Čak i u Kini, gdje je rad povijesno gledano uvijek bio najjeftiniji, plaće su narasle zajedno s njihovim ukupnim gospodarskim rastom. Plaće u prerađivačkoj industriji tijekom proteklih deset godina povećale su se pet do devet puta pa je sve skuplje održavati veliku kinesku radnu snagu (Ross, 2016). Svedeno na ekonomske termine, izbor između zapošljavanja ljudi i kupovine te upravljanje robotima uključuje kompromis u terminima troškova. Ljudski rad sa sobom nosi vrlo malo kapitalnih troškova poput plaćanja unaprijed za infrastrukturu, strojeve i opremu, no mnogo operativnih troškova kao što su plaće i naknade za zaposlenike. Roboti dolaze sa dijametralno suprotnim troškovnom strukturom, njihovi početni kapitalni troškovi su visoki, no operativni troškovi su vrlo mali. Kako se kapitalni troškovi robota smanjuju, operativni troškovi ljudi postaju sve skuplji i stoga sve manje privlačni poslodavcima.

Kapitalne investicije uložene u automatizaciju zahtijevaju duži vremenski period za dostizanje isplativosti i dostupne su samo tvrtkama koje nisu pod kratkoročnim financijskim pritiscima jer uz opremu, razvoj programa i održavanje, iziskuju i angažiranje visokokvalificiranog stručnog osoblja. Kompanije koje nisu spremne preuzeti rizik visokih ulaganja, vjerojatno će se i dalje oslanjati na fleksibilnost radne snage.

Dinamika poslovanja u svijetu mijenja se i sa sve većim očekivanjima klijenata u smislu skraćivanja rokova isporuke. Takva dinamika ne zahvaća samo maloprodaju, već i B2B poslovanje. Kompanije koje su u mogućnosti kvalitetnije udovoljiti zahtjevima postižu prednost na tržištu. Kao odgovor na te zahtjeve nameće se automatizacija i robotizacija logističkih operacija kako bi se pomaknule granice produktivnosti i efikasnosti te uspješnije savladale frekvencije u vršnim opterećenjima.



### 4.3. Razvoj robotske tehnologije

Automatizacija skladišta i logistike trenutno ima značajni utjecaj na globalnu trgovinu. Većina tvrtki sa aspiracijama u e-trgovini okreću se automatizaciji operacija. Glavni pokretač promjena je Amazon. Amazon može ponuditi popunjavanje zaliha sustavom automatizacije u istom danu za svoje centre. Takvu ponudu ostatak globalne maloprodaje nastoji dostići. Amazon je 2012. kupio Kiva Systems, tvrtku koja proizvodi sustave za automatizaciju za skladišta, za 775 milijuna dolara. Kiva je bila vodeći dobavljač za skladišna logistička rješenja u to vrijeme i mnoge tvrtke su se oslanjale na njihovu tehnologiju. Bilo je potrebno neko vrijeme da na tržište dođe nekoliko robotičkih tvrtki koje nude logističke proizvode, nudeći rješenja za skladišne sustave malih i srednjih maloprodaja (Nichols, 2020). Neka od rješenja nadograđuju se, poput samoupravnih kolica koja se mogu brzo i autonomno kretati pakirnim stanicama. Drugi su sveobuhvatniji, obuhvaćajući kilometre pokretnih traka i tisuće robotski jedinica.

Robotizacija, uz svoje benefite, ima i ograničenja. Upravo je u posljednjih nekoliko godina došlo do velikih pomaka u napretku tehnologije i mogućnostima koje ta tehnološka grana isporučuje.

Polje robotike napredovalo je iz četiri glavna razloga (Nichols, 2020):

1. Pad cijene senzora
2. Robotski operativni sustav
3. Brza izada prototipa
4. Usklađivanje različitih tehnologija

#### Senzori

Potražnja za mobilnim računarstvom bila je blagodat za razvoj robotike, što dovodi do pada cijena, brzog napredka i minijaturizacija senzorske tehnologije. Akcelerometri su nekad koštali stotine dolara, no danas pametni telefon može mjeriti ubrzanje, snimati video zapisa, odrediti zemljopisni položaj, može se povezati s drugim uređajima i vršiti prijenos podataka u nekoliko opsega spektra. Prisutnost IoT uređaja još je jedan pokretač. Do 2025. bit će povezano 100 milijardi uređaja koji generiraju prihod od 10 bilijuna dolara. Po prvi puta senzori koji hvataju i šalju podatke koji se odnose na pritisak, okretni moment i položaj su jeftini, što dovodi do procvata razvoja robotike. Slično tome, cijene lidarskih i infracrvenih senzora, prethodno najskuplje senzorske opreme za

samonavođenje robota, srušili su se 90 posto, velikim dijelom zahvaljujući agresivnom razvoju samovozećih automobila. I 3D kamere, koje su nekada bile nedostupne svima, sada su dostupne u prodaji zahvaljujući pametnom radu s algoritmima.

### Robotski operativni sustav

2009. godine na međunarodnoj konferenciji o robotizaciji i automatizaciji IEEE (ICRA) predstavljen je robotski operativni sustav ROS. ROS (Robot Operating System) je skup alata kojemu je cilj pojednostaviti zadatak programerima u stvaranju složenog robotskog softvera. Sustav služi kao platforma za nedogradnju, fleksibilan je, besplatan i kao takav postao je standard u robotskoj industriji. U osobnom računarstvu također postoje korisnici otvorenog koda ali u tom segmentu vlasnička operativna okruženja poput Windows-a dominiraju. To nije slučaj sa robotikom, gdje je otvoreni izvor (*eng. Open source*) postao vrlo popularna platforma među istraživačima robotike. ROS ekosustav sada se sastoji od desetaka tisuća korisnika širom svijeta (ROS.org, 2020), a stvoren je kako bi riješio, sa ljudskog stajališta trivijalne, osnovne probleme u prilagođavanju algoritama velikom broju varijacija zadataka i okoliša, te potaknuo suradnički razvoj softvera.

### Brza izrada prototipova

Brzom izradi prototipa u velikoj mjeri pridonio je razvoj i sve veće mogućnosti 3D printanja. Osim u robotskoj industriji, 3D printanje bi iz temelja moglo promijeniti način, te kada će se i gdje potrošačka roba proizvoditi. Mogućnosti kao što su 3D printanje sa sve većim brojem materijala postala su vrijedna alternativa klasičnoj proizvodnji dijelova, pogotovu u specifičnoj branši kao što je izrada prototipa robotskih sustava. Brzom izradi prototipa doprinio je Gazebo simulator robotike. Gazebo je produkt Open Robotics-a, tvorca ROS operativnog sustava, koji omogućuje testiranje algoritama u virtualnoj stvarnosti bez riskiranja hardvera, što inženjerima i programerima omogućava brži razvoj i kvalitetnija rješenja.

### Usklađivanje tehnologija

Baš kao nagli pad cijene senzora, ogroman uspjeh mobilnog računarstva potaknuo je napredak u prepoznavanju glasa i predmeta, koji imaju jasne primjene u robotici. 3D senzori i simulatori, razvijeni za računarne igre, pomažu robotima navigirati neredom nestrukturiranog ljudskog svijeta. Takav napredak tehnologije dodatno je popraćen predvidljivim povećanjem računalne

snage iz godine u godinu, zajedno s računarstvom u oblaku (eng. Cloud computing) i IoT tehnologijom.

#### **4.4. Vrste i namjena robota u skladišnom poslovanju**

Samovozeća vozila - Autonomous Guided Vehicles (AGV)

Samovozeća vozila su vozila na vlastiti pogon vođena softverom i senzorima, a trenutno su jako popularna tehnologija u robotici. Samovozeći automobili koje velike kompanije ispituju u cestovnom prometu samo su jedna aplikacija tehnologije autonomne vožnje. Za sada mala samoupravljenjena vozila imaju veći utjecaj na trgovinu jer se vješto kreću strukturiranim i polustrukturirana okruženjima tvornica i skladišta, prostorima koji nude manje nasumičnosti od otvorenih cesta. Automatizirana vođena vozila (AGV) roboti su koji za kretanje slijede ugrađene trake ili žice u podu ili se kreću pomoću radio valova, kamera, magneta ili lasera. Koriste se za premještanje raznih vrsta tereta, od skladišnih jedinica do kontejnera, i na taj način zamjenjuju upotrebu viličara, kolica i sličnih transportnih sredstava. AGV, zbog svoje autonomije, povećava učinkovitost, predvidljivi su i pouzdani u obavljanju ponavljajućih zadataka, a u usporedbi sa drugim rješenjima automatizacije ne iziskuju velike infrastrukturne promjene. Rukovanje materijalima povoljno je za automatizaciju pomoću samoupravljenih vozila, velikim dijelom i zbog toga što je to vrlo opasano okruženje za ljudske radnike. Samovođeni roboti opremljeni lidarom, kamerama i mnoštvom drugih senzora mogu sigurno i brzo upravljati utovarnim rampama i tvorničkim prostorom, izbjegavajući pri tome sudare.

Autonomni mobilni roboti - Autonomous Mobile Robots (AMR)

AMR je u osnovi evolutivni korak od autonomnih vođenih vozila - Autonomous Guided Vehicles (AGV). AMR su samoupravljujući uređaji koji se proizvode u raznim oblicima s različitim funkcijama i mogućnostima, a osnovna razlika od standardnog AGV-a očituje se u sustavu navigacije. Navigacija AMR-a funkcionira putem karata koje njegov softver izrađuje na licu mjesta ili putem unaprijed učitanih mapa objekata. Takav način navigacije ne zahtjeva infrastrukturne elemente poput vodiča, magnetske vrpce ili navigacijskih oznaka da bi se samostalno pozicionirao u prostoru. Za postizanje autonomije i sigurnosnih standarda opremljeni su lasrima, skenerima, 3D kamerama i audio-vizualnih indikatora upozorenja. Zahvaljujući bazama podataka u obliku mnoštva pohranjenih slika i upravljani pametnim algoritmima koji ih

obrađuju, AMR posjeduju mogućnosti izbjegavanja prepreka te izračunavanja optimalnih i alternativnih ruta unutar mape. Namjenjeni su za samostalni transport materijala unutar objekta, na zadacima u rukovanju zalihama, ili kao suradnički roboti sudjelujući u zajedničkim operacijama sa zaposlenicima. U oba slučaja nameću se kao fleksibilna rješenja za čiju je prilagodbu ili prenamjenu dovoljno softversko podešavanje.

#### Pomoćni roboti - Collaborative Robots

Novija generacija robota, za razliku od teških industrijskih robota 20. stoljeća, fleksibilni su i lako se programiraju. Primarna značajka koja ih čini suradničke je njihova sposobnost izbjegavanja neželjenih sudara i prepoznavanja okoline. Te sposobnosti omogućuje suradničkim robotima da funkcioniraju izvan sigurnosnih kaveza i uz ljude, što otvara nove potencijale za produktivnost (Greg Nichols, 2020). Na taj način robotika se koristi kao alat za povećanje radne snage, time što omogućuje djelatnicima skladišta da se posvete zadacima koji zahtijevaju kreativnije vještine rješavanja problema, dok robot odrađuje jednostavnije, ponekad monotone i ponavljajuće zadatke. Zahvaljujući kombinaciji AI, napredne mobilnosti robotike, računalnog vida i senzora, pomoćni roboti ne predstavljaju rizik za ljudske djelatnike i mogu sigurno obavljati radne zadatke u skladištu (John Santagate, 2020). Robotizacija se povećava u industrijama poput automobilske i elektroničke proizvodnje, te se ubrzano širi na skladišno poslovanje. Kako cijene svestranih platformi padaju, mali i srednji proizvođači počinju zapošljavati robote. Unatoč tome, vjerojatna budućnost u kojoj roboti zamjenjuju industrijske radnike su daleko, a u međuvremenu, s ekonomijom koja favorizira hibridni pristup, sigurnost je na prvom mjestu. (Nichols, 2020).

#### Autonomni roboti za inventure - Autonomous Inventory Robots

Autonomni roboti za inventure u osnovi je AMR sa namjenom da pojednostaviti upravljanje zalihama skladišta. Uporebom RFID tehnologije, autonomni roboti za inventure sposobni su neprestano obavljati preglede zaliha kako bi upraviteljima lanaca opskrbe osigurali ažurirane podatke u stvarnom vremenu za razliku od tradicionalnog ručnog prebrojavanja inventara. Takvo prikupljanje podataka u pravilnim intervalima može se koristiti za mapiranje i vizualiziranje pohrane proizvoda, prilagođavanje izgleda skladišta i uklanjanje potencijalnih pogrešaka u zalihama. Aktivne RFID oznake mogu se otkriti do udaljenosti od oko 450 metara, što ovim robotima omogućuje da brže i učinkovitije određuju inventar od svojih ljudskih kolega. Takav

oblik kontrole može rezultira dugoročnom uštedom jer se smanjuju troškovi, nepotrebn rad, višak otpada i operativna neučinkovitost (Santagate, 2020)

#### Bespilotne letjelice - Unmanned Aerial Vehicles (UAV) - Dron

Bespilotne letjelice smatraju se probajnom tehnologijom u upravljanju zalihama skladišta, jer omogućuju brzo i precizno popisavanje zaliha pružajući informacije u stvarnom vremenu dionicima lanca opskrbe. Kada su opremljeni RFID tehnologijom pružaju složenije i detaljnije prikaze skladišnog stanja i sinkroniziraju ga sa sustavima upravljanja zalihama putem web aplikacija. Kombinacija višesmjernih senzora i navigacijskih algoritama pomaže u sprječavanju sudara s drugim dronovima ili predmetima u skladištu, a istovremeno eliminiraju izlaganje zaposlenika rizicima kontrole materijala u visokim regalima.

#### Robotski sistemi paletizacije - Palletizing systems

Robotsko paletiziranje odnosi se na upotrebu robotske ruke za slaganje i istovar robe sa ili na paletu potpuno automatski. Takvi roboti primjenjuju se u mnogim industrijskim granama od proizvodnje i skladištenja do otpreme. Proizvode se u velikom rasponu dosega i korisne nosivosti. Razni tipovi alata na kraju ruke omogućuju fleksibilnost različitih vrsta paletizacije robota. Alati za prihvatanje materijala mogu biti hvataljke za vreće koje obuhvaćaju predmet i podupiru ga sa dna, dok usisni i magnetni hvataljke obično obrađuju predmete hvatajući ih sa vrha.

#### Slika 9. Robotski sistemi paletizacije



Izvor: <https://new.abb.com/>

## Robotski sustav izdavanja - Robotic picking system

Robotski sustav izdavanja automatizirani je postupak odabira proizvoda za ispunjavanje narudžbe. Ovi se roboti mogu programirati za ispunjavanje narudžbi od strane kupaca ili zaposlenika i mogu izvršavati više zadataka istovremeno, te mogu biti integrirani u sustave upravljanja skladištem. Namijenjeni su korištenju za odabir proizvoda sa polica, pokretnih traka ili skladišnih jedinica u širokom spektru industrija uključujući e-trgovinu, proizvodnju, maloprodaju itd. Ovisno o sofisticiranosti izvedbe, mogu biti opremljeni naprednim sustavom računarnog vida, te mogu razlikovati oblik, veličinu i boju predmeta kako bi bili u stanju odabrati potrebne artikle. Unatrag nekoliko godina robotski sustavi za izdavanje standardno su bili stacionirani na postoljima uz pokretne trake ili police sa kojih su vršili odabir proizvoda. Razvojem autonomije kretanja robota pojavljuju se i robotski sustavi za izdavanje na platformama AMR i AGV. Skladišta su strukturirana okruženja ali još uvijek postoji velika varijabilnost u tim prostorima. Iz tog razloga, robotski sustav za izdavanje je vjerojatno najkompleksniji skladišni uređaj.

Primjer takvog sistema izradila je tvrtka Fetch Robotics. Sistem se bazira na AMR mobilnom manipulatoru naziva Fetch sa robotskom rukom, namijenjenom odabiru proizvoda sa polica skladišta. Maksimalan teret koji može podići je 6 kilograma što je, prema podacima Fetch Roboticsa, dovoljno za manipulaciju između 90 i 95% artikala u prosječnom skladištu (Fetch Robotics, 2018).

Slika 10. Fetch by Fetch Robotics



Izvor: <https://fetchrobotics.com/>

Fetch mobilni manipulator za odabir artikala zbog svoje kompleksnosti, visokog težišta i namjene ne kreće se velikom brzinom, 1 m/s (Fetch Robotics, 2018), stoga radne procese usklađuje sa AMR jedinicom za transport Freight sa većom nosivošću i brzinom od 2 m/s (Fetch Robotics, 2018).

Slika 11. Robotske ruke za dohvat i prijenos



Izvor: <https://fetchrobotics.com/>

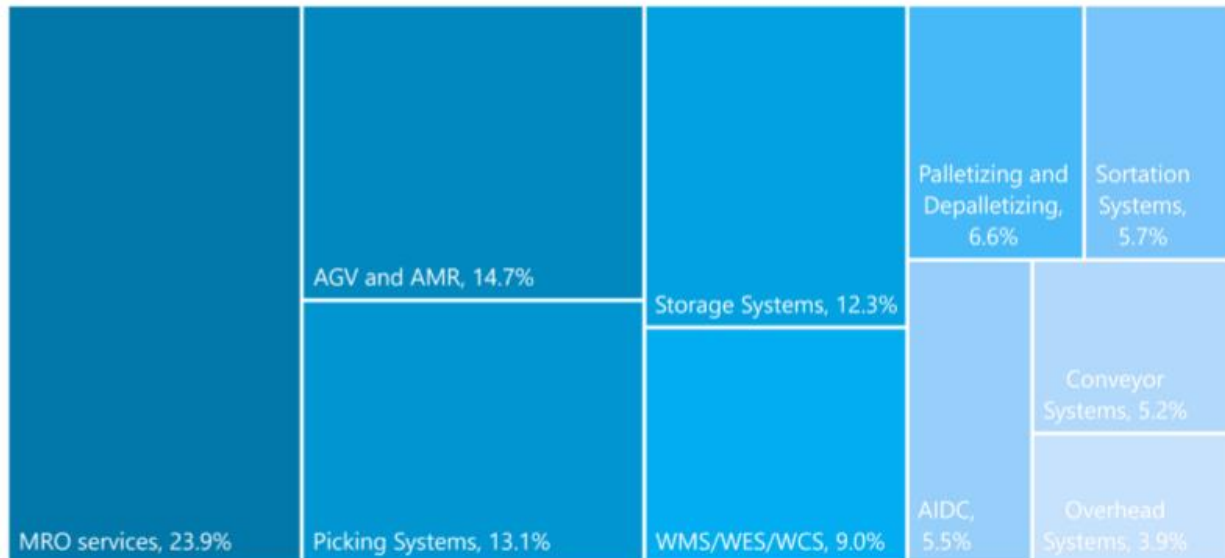
Robotska jedinica Freight može se koristiti i kao suradnički robot u operacijama sa zaposlenicima.

#### **4.5. Primjena robota u svijetu**

Oprema za rukovanje materijalima potrebna je u skladištima i proizvodnim pogonima za brzo kretanje robe ili proizvoda, lociranje materijala i pripremu narudžbi. Dok industrijska poduzeća širom svijeta usvajaju napredne proizvodne tehnike i grade nove tvornice, logistička i transportna poduzeća nastoje povećati učinkovitost poslovanja koristeći sisteme automatizacije kako bi zadovoljila rastuću potražnju za njihovim uslugama.

Prema istraživačkim studijama, najzastupljenije tehnologije automatizacije u periodu do 2025. godine biti će automatizirana vođena vozila (AGV) i autonomni mobilni roboti (AMR), a najveći ukupni prihod očekuje se od segmenta održavanja, popravaka i operativnih opskrbnih proizvoda (MRO- Maintenance, Repair and Operations items) (RoboBusiness, 2019).

Slika 12. Svjetsko tržište automatizacije u skladišnom poslovanju u 2025.



Izvor: LogisticsIQ

Automatizirana vođena vozila (AGV) i autonomni mobilni roboti (AMR) trenutno su u fokusu kao fleksibilna i svestrana rješenja koja, za razliku od ostalih sustava automatizacije, zahtijevaju minimalne infrastrukturne promjene i mogu učinkovito i sigurno transportirati materijal po cijelom objektu.

Tvrtka za istraživanje tržišta i konzultantske usluge Interact Analysis procjenjuje da će svjetski prihodi od mobilnih robota doseći 2,4 milijarde američkih dolara u 2020. godini. Prema procjenama prodaja automatiziranih vođenih vozila (AGV-a), koja automatski obavljaju zadatke rukovanja materijalom bez ljudske intervencije, ali su ograničena na navigaciju korištenjem fizičke infrastrukture porasti će u 2020. godini za 11% u odnosu na 2019. godinu. Prodaja naprednijih autonomnih mobilnih robota (AMR-a) koji mogu navigirati bez potrebe za vanjskim markerima ili infrastrukturom porasti će 45% u odnosu na godinu prije (RoboBusiness, 2019).

U 2019. godini isporučeno je gotovo 20 000 AMR jedinica čiji je ukupan broj operativnih jedinica iznosio 36 000 na kraju godine. Prema predviđanjima tvrtke Interact Analysis tržište AMR će rasti do 530 000 ispučenih robota godišnje u 2024. godini, što će dovesti do ukupnog broja od 1,1 milijuna operativnih jedinica (Sharma, 2020).



Globalni segment logistike i skladištenja na tržištu AGV-a procijenjen je na 1,075 milijardi USD u 2018. godini, a očekuje se da će doseći 2,95 milijardi USD do 2025. godine, po godišnjoj stopi rasta od 14,8% od 2019. do 2025. godine. (Grand View Research, 2019).

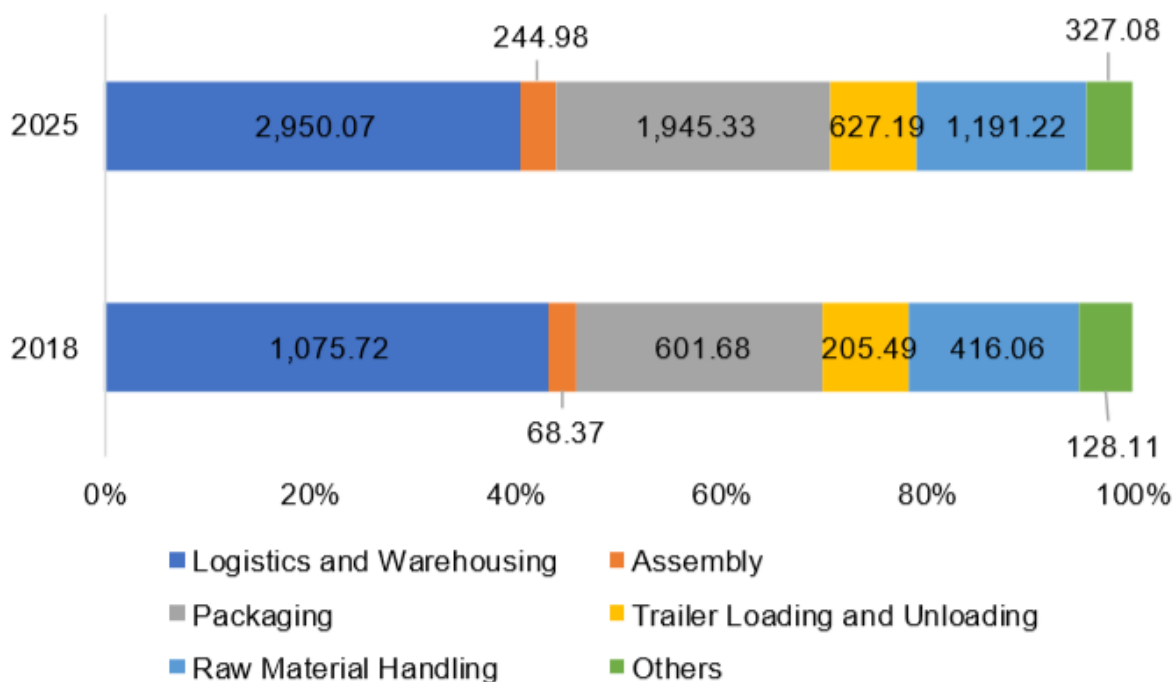
Tablica 1. Svjetsko tržište AGV-a u logistici i skladištenju od 2014. do 2025.

Year	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	CAGR (2019 – 2025)
Revenue	347.59	499.52	683.40	873.86	1,075.72	1,292.12	1,530.16	1,787.37	2,066.58	2,364.56	2,655.97	2,950.07	14.8%

Izvor: Grand View Research

Prema primjeni, na logistiku i skladišne operacije otpadat će najveći dio tržišta AGV-a i idućih nekoliko godina (Grand View Research, 2019).

Graf 3. Tržišni udio AGV-a prema primjeni od 2018. do 2025.



Izvor: Grand View Research

Vjerojatno najveći korisnik robotske tehnologije u logistici trenutno je Amazon. Amazon je vodeća američka platforma za e-trgovinu s tržišnim udjelom od 35% (Blackledge, 2020). Za robotizaciju operacija zadužena je tvrtka Amazon Robotic, koja je do 2012. poslovala pod nazivom Kiva

System sa sjedištem u Bostonu. Tvrtka Amazon Robotics razvija i implementira rješenja isključivo za potrebe Amazona i nije uključena u analize tržišta. Amazon posjeduje 175 distributivnih centara po cijelome svijetu, od kojih su 26 prošli inicijalnu fazu implementacije skladišnih robotskih rješenja (About Amazon Staff, 2019). Robotska tehnologija primjenjuje se u vidu robota za paletiziranje, robotskih dizalica za manipuliranje teškim teretima i robotskih jedinica za G2P način rada. Do sada je implementirano 30 jedinica za paletiziranje, 6 robotskih dizalica i 100 000 pokretnih jedinica za ispunjavanje narudžbi (About Amazon Staff, 2019).

Slika 13. Amazon Robotics jedinica



Izvor: <https://www.aboutamazon.com/>

Prema nekim procjenama broj robotskih jedinica angažiranih na skladišnim operacijama u Amazonu premašuje 200 000 (Blackledge, 2020) ili 250 000 (Sharma, 2020). Prema Amazonovim podacima roboti povećavaju učinkovitost i sigurnost zaposlenika, te omogućuju pohranu 40% više inventara u skladištu. Od 2012. godine, od kada je Amazon krenuo sa intenzivnijom robotizacijom, zaposlilo je više od 300 000 zaposlenika na puno radno vrijeme, promovirajući suradnički pristup ljudi i robota u radu u skladištu. Dio tih angažmana odnose se na IT sektor, servisiranje i održavanje robotskog sustava (About Amazon Staff, 2019).

## 5. RAZVOJ I PROIZVODNJA ROBOTA U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj posluje nekoliko tvrtki koje se bave razvojem i proizvodnjom robotskih sistema. Tvrtka INETEC iz Zagreba specijalizirana je za ispitivanja i održavanje nuklearnih elektrana i za tu svrhu razvila je više tipova robotskih jedinica. Robote koriste u ispitivanju reaktora, vodova i turbina nuklearnih elektrana. Tvrtka Dok-Ing d.o.o. iz Zagreba, bavi se razvojem i proizvodnjom robotskih strojeva i opreme za razminiranje, vatrogastvo i rudarstvo. Osim privatnih tvrtki u razvoj robotike uključile su se i institucije iz Hrvatske. Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, u suradnji sa KB Dubrava i Hrvatskim institutom za istraživanje mozga, a uz potporu Ministarstva znanosti i Hrvatske zaklade za znanost, razvija četvrtu generaciju robotskog sustava za primjenu u neurokirurgiji.

Robotska rješenja za primjenom u skladišnom poslovanju razvijaju dvije tvrtke u Hrvatskoj. Tvrtka Gideon Brothers, osnovana u Osijeku, razvija i proizvodi mobilne robote za manipulaciju teretom u skladištima. Tvrtka Romb Technologies, iz Zagreba, razvija rješenja za ugradnju na već postojeće električne uređaje, kako bi ih pretvorili u robotske jedinice.

Dalje u radu biti će pobliže predstavljena tvrtka Gideon Brothers, njihovi proizvodi i projekti.

### 5.1. Gideon Brothers

Tvrtka Gideon Brothers osnovna je 2017. godine u Osijeku i krenula kao startup na području robotike i umjetne inteligencije. Danas, uz osiječku, posluje i na lokaciji u Zagrebu, gdje je oformljen testni centar. Kao akcelerator u poslovanju doprinjeli su njihovi investitori, među prvima tvrtka Plug & Play, koja je pored financijskih investicija pridonijela umrežavanju tvrtke u poslovnom svijetu. Tvrtka posluje na temelju ugovornog odnosa sa kompanijama temeljeno na B2B poslovanju. U kratkom vremenu koliko posluju, osvojili su velik broj nagrada za svoja inovativna rješenja, za koje u tvrtki kažu „*da su sve drage jer su u tom trenutku bile potvrda njihovog rada i razvoja*“. Ipak, najprestižnije su „AI Rising Star“ Founders Foruma u Londonu 2018., godine, foruma koji se diljem svijeta održava u organizaciji udruženje digitalnih poduzetnika i investitora te se može prisustvovati samo uz pozivnicu, i „Best International Mobility & Logistic Startup“ u Njemačkoj 2018., koja im je usmjerila razvoj omogućujući

inicijalne kontakte sa budućim klijentima kao što su DB Shenker (Gideon Brothers, intervju 2020).

Tokom razvoja, primjenu svojih rješenja implementirali su na logističkim robotima. U vrijeme razvoja njihovog prvog proizvoda 2018. bili su jedna od samo tri tvrtke na svijetu, a jedina u Europi, koja je razvijala autonomiju robotskih jedinica na temelju računarnog vida. Računarni vid je kombinacija laserskog 2D radara i 3D kamere pomoću kojeg se upravljanje sustavom oslanja na vizualnu percepciju (Gideon Brothers, intervju 2020).

Tehnologiju koja je razvijena u tvrtci nazvali su Advanced Visual Perception, te njihovim robotima, opremljenim skupovima podataka, omogućava prepoznavanje okruženja, predmeta i osoba, te čak i „razumijevanje“ njihovih kretnji. To znači da AI uzima u obzir vjerojatnost da se prepreka kreće ili će se pomaknuti u nekom trenutku i prema tome prilagođava svoju putanju (Gideon Brothers, 2020).

Slika 14. Semantički vid - prepoznavanje oblika



Izvor: <https://www.gideonbros.ai/>

Upravo je spoj njihovog naprednog algoritma i tehnologije ono što ih izdvaja i daje prednost nad većinom konkurentskih proizvoda.

U razvoju svojih rješenja Gideon Brothers koristili su Gazebo simulator za testiranje svojih algoritama. Na taj način omogućeno je ranije uočavanje potencijalnih problema, optimizacija i, u konačnici, bolja rješenja. U proizvodnji koriste 3D printere za izradu nekih specifičnih komponenti ali većina komponenti i dijelova izađuju kooperanti, prema njihovom dizajnu i standardima. Konačno sastavljanje i testiranje proizvoda provodi se u prostorima centra Gideon Brothers (Gideon Brothers, intervju 2020).

### 5.1.1. Proizvodi

Prvi komercijalni proizvod tvrtke Gideon Brothers, robot za prijevoz paleta, predstavljen je 2018. godine.

Slika 15. Robot za rukovanje paletama



Izvor: Gideon Brothers

„Pallet Handling Robot“ je AMR sa raznim mogućnostima nadogradnje. Kao gotov proizvod opremljen je škarastim sistemom za manipulaciju paleta, kontejnera ili kaveza nosivosti do 800 kg (<https://www.gideonbros.ai/>). Softverska platforma sustava je ROS operativni sustav, operativni sustav koji pruža široki spektar mogućnosti i u startu nudi inicijalni dio softvera koji nije razvojni dio tvrtke. Robot se u radu oslanja na 2D LiDAR (laserski radar) senzor i 3D stereoskopske kamere koje su razvijene unutar tvrtke jer niti jedna dostupna kamera na tržištu nije pružila adekvatnu razinu kvalitete slike i potrebne mogućnosti obrade u aplikaciji (Gideon Brothers, intervju 2020). AI algoritmi, razvijeni u tvrtci, vrše prepoznavanje na temelju više desetaka tisuća slika kako bi upravljali sustavom u radu. Uz stereoskopske kamere robot ima pokrivenost od 360° LiDAR senzorima sa sigurnosnim certifikatima, svjetlosni pojas, signalizaciju smjera i načina rada i

prilagodljiv audio signal što su dodatne značajke sigurnosti. Maksimalna brzina platforme je 2 m/s, ali propisi u većini jurisdikcija ograničavaju je na 1,39 m/s (tempo blizak brzini od 5 km/h). Eksterne baterije (Li-Ion) kojima je robot opremljen pružaju autonomiju os 10 sati ali ih je moguće zamijeniti bez gašenja robota (Gideon Brothers, 2020).

Najčešća je ručna upotreba robota, *on demand*, ali je moguća i integracija sa postojećim nadređenim sustavima upravljanja skladištem, kao WMS, radi postizanja većeg stupnja automatizacije. Sa tim ciljem uspostavljen je kontakt sa nekoliko proizvođača nadređenih skladišnih sustava kako bi uskladili parametre i kupcima ponudili gotovo rješenje, WMS sa integriranim robotskim sustavom. Roboti preventivno komuniciraju međusobno radi usklađivanja putanja kako bi bili izbjegnuti zastoji (Gideon Brothers, intervju 2020).

Roboti se kontroliraju putem aplikacije Fleet Management Interface temeljene na pregledniku na bilo kojem uređaju povezanom na zajedničku mrežu uz opciju ugradnje integriranog uređaja osjetljivog na dodir na postolje robota (Gideon Brothers, 2020).

Multifunkcionalnost njihovog sustava očituje se u različitim područjima u kojima bi sustav mogao biti implementiran. U trenutnoj situaciji, suočeni sa pandemijom, tvrtka je ponudila AMR sa opcijom nadogradnje namjenjenu dezinfekciji prostora skladišta, bolnica, škola i sl. kako bi odgovorila situaciji primjenog svog rješenja (Gideon Brothers, intervju 2020).

Uz AMR u operativnoj upotrebi u skladištu potrebana je stanica za rukovanje paletama.

Slika 16. Stanica za rukovanje paletama

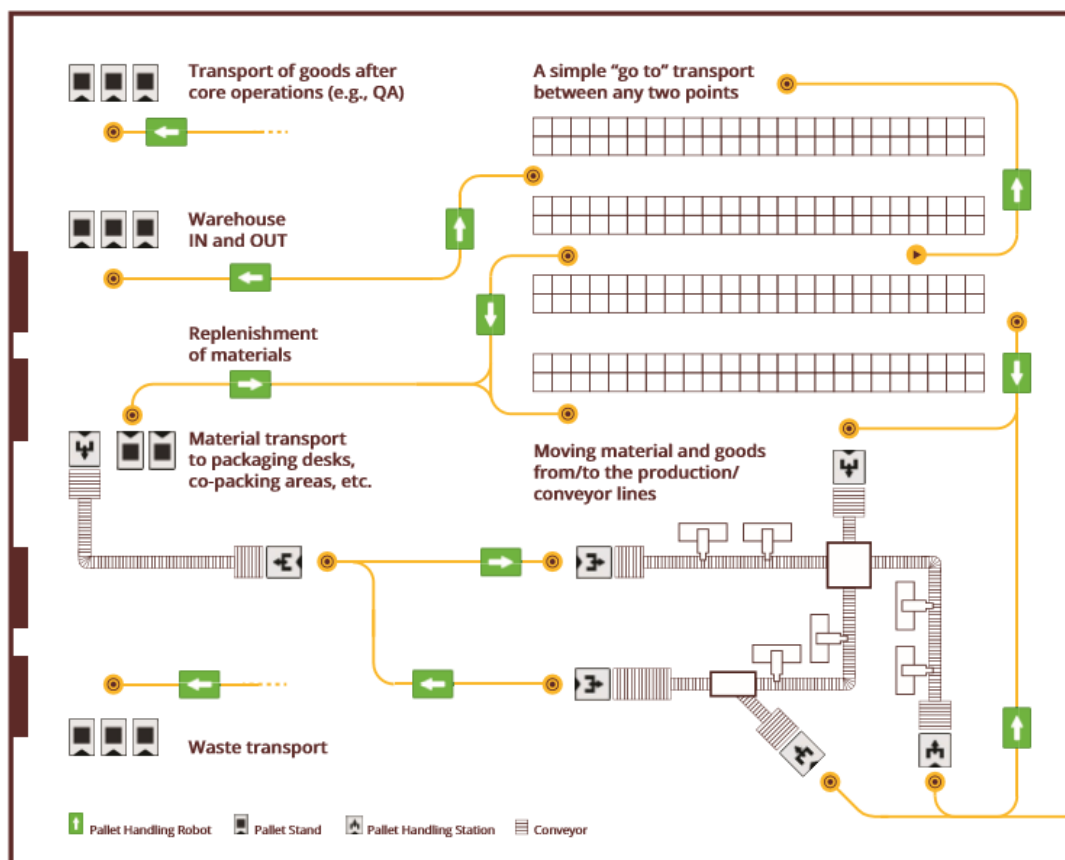


Izvor: Gideon Brothers

Stanica za rukovanje paletama dizajnirana je za proširenje mogućnosti robota i povezivanje s transportnim trakama. Ugrađeni sustav za podizanje može vertikalno mijenjati položaj paleta kako bi se omogućio kontinuirani protok paleta. Također je kompatibilan s viličarima za palete i sličnom opremom. Roboti komuniciraju sa stanicom za rukovanje paletama putem Wi-Fi veze i razmjenjuju informacije o prisutnosti paleta. Stanica je također opremljena vizualnim i audio sustavom alarmiranja (Gideon Brothers, 2020).

Implementacija sustava, ovisno o potrebama i mogućnostima zainteresiranih klijenata, može se izvršiti u roku od tjedan dana, uključujući opremanje i mapiranje prostora, te edukaciju korisnika. Nakon inicijalnog mapiranja prostora moguće je naknadno nadopunjavanje prikupnih/dostavnih točki i zadataka. Implementacija može ovisiti i o trećoj strani, npr. wireless infrastruktura o kojoj su autonomna rješenja ovisna u radu (Gideon Brothers, intervju 2020).

Slika 17. Primjer sheme za upotrebu



Izvor: Gideon Brothers

Osim navedenih proizvoda, tvrtka ima u pripremi koncept manjeg skladišnog robot namijenjen maloprodajnim skladištima i još robusnija verzija trenutnog AMR-a za opterećenja preko 1000kg (Gideon Brothers, intervju 2020).

Svi proizvodi tvrtke u skladu su sa propisanim standardima ISO 3691-4:2020 (Gideon Brothers, intervju 2020).

### **5.1.2. Projekti**

Za tvrtku Gideon Brothers 2019. godina je bila vrijeme pilot projekata u kojem je ostvarena suradnja sa domaćim kompanijama Tokić, Orbico, Atlantic Grupa i Hrvatskom Poštom (samo pilot projekt do daljnjega). Suradnja sa većinom je produžena i nakon planirane inicijalne faze koja je bila izrazito korisna. Kako za te tvrtke, u kojima su se djelatnici susreli sa naprenim vidom automatizacije i načinama korištenja, tako i za Gideon Brothers gdje su iskoristili ta iskustva kako bi dodatno unaprijedili svoj proizvod, a sa ciljem još boljeg korisničkog iskustva prilagođenog individualnim potrebama suradnika (Gideon Brothers, intervju 2020).

Kroz pilot projekte pokazalo se da su kupci u startu rezervirani prema integraciji robotskog sustava u postojeće sustave, već češće koriste *on demand* način upravljanja ali smjer razvoja je jedan homogeni automatizirani sustav (Gideon Brothers, intervju 2020).

Jedan od većih problema u poslovanju je u razumijevanju i spremnosti za ulaganja novih korisnika u jednu tako mladu tehnologiju. Operativno je problem sa prihvaćanjem nove tehnologije operativcima u skladištu, gdje ih nerijetko smatraju ugrozom vlastite radne egzistencije. Glavni uzrok je nerazumijevanje da tehnologija ne zamjenjuje čovjeka već pruža dodatne mogućnosti i služi kao novi alat, kao što je npr. električni viličar unaprijedio skladišno poslovanje (Gideon Brothers, intervju 2020).

Nakon inicijalnih sastanaka ulaze u dubinsku analizu procesa korisnika i traže način kako ih maksimalno automatizirati svojim rješenjima. Sam proces upravljanja njihovim robotskim sustavom je prilagođen krajnjem korisniku koji samostalno može mijenjati parametre i upravljati zadacima. Postoji i mogućnost najma, komercijalnim ugovorom, kako ne bi bilo obavezno inicijalno ulaziti u visoke infrastrukturne izdatke (Gideon Brothers, intervju 2020).



Pri planiranju implementacije robotskog sustava, osim procijena podizanja učinkovitosti i rješavanja problema manjka radne snage, treba uzeti u obzir više stavaka o kojima ovisi krajnji rezultat i predviđeno vrijeme povrata investicija. Koliko god robotski sustav bio prilagodljiv i konačna verzija upotrebe ovisila o individualnim zahtjevima korisnika, postoje opće smjernice koje potencijalnim kupcima inicijalno stvaraju realniju sliku potrebnih sredstava za ulaganje i predviđenih benefita, neovisno za kojeg dobavljača robotskog rješenja se odlučili (Gideon Brothers, 2020).

Troškovi (Gideon Brothers, 2020):

- (€) Početna cijena kupnje (prilikom kupnje rješenja)  
Za grubi izračun uzima se uzima se cijena jedinice ali za dobivanje prilagođene ponude koja je u skladu s onim što konkretno klijentu treba, vrijedi uložiti potrebno vrijeme.  
▸ Jednokratni izdaci ili u slučaju leasinga mjesečni trošak tijekom x broja mjeseci
- (€) Troškovi dostave  
Troškovi isporuke mogu imati značajan utjecaj, posebno se dobavljač nalazi na drugom kontinentu. Ne samo u pogledu isporuke, nego imati dobavljača i podršku smještenu u istom ili obližnjem području pokazuje se korisnim tijekom životnog ciklusa investicije.  
▸ Jednokratni trošak
- (€) Troškovi instalacije  
Neki dobavljači instalaciju naplaćuju kao zaseban trošak. Odabir fleksibilnog rješenja, onog koje ne zahtijeva posebne nadogradnje objekata i koje je jednostavno za upotrebu, ovdje će napraviti veliku razliku. Fleksibilno rješenje moglo bi značiti i ono koje nudi veću fleksibilnost u budućnosti kada dođe vrijeme za skaliranje flote i / ili proširenje opsega slučajeva korištenja.  
▸ Jednokratni trošak
- (€) Prošireno jamstvo (pri kupnji rješenja)  
Kada se uspoređuje rok povrata sredstava robotskih sustava, potrebno je provjeriti duljinu ponuđenog jamstva u slučajevima kupnje. Dobavljači koji pružaju produženo jamstvo, iako

jednokratni troškovi, mogu utjecati na ukupne troškove projekta. Alternativa je najam robota uz pretplatu čime se taj trošak u potpunosti uklanja.

▸ Jednokratni trošak

- (vrijeme) Obuka korisnika

Dobavljači mogu obuku zaposlenika naplatiti kao zasebnu stavku. U skladu s tim, potrebno je saznati može li se buduća obuka izvoditi interno ili se mora sa dobavljačem ugovarati dodatne seanse. Odabir sustava kojim je vrlo jednostavno rukovati s intuitivnim sučeljem može imati mjerljiv financijski učinak.

▸ Jednokratni trošak ili u slučaju vanjske usluge - mjesečni trošak =  $1/12$  godišnje procjene

- (€) Operativna energija

Potrebno je zatražiti od dobavljača da procijeni maksimalnu potrošnju energije za punjenje robota, na temelju sličnog scenarija upotrebe.

▸ Mjesečni trošak =  $1/12$  godišnje procjene

- (€) Stalni potrošni materijal, servis i održavanje (prilikom kupnje rješenja)

Stalni potrošni materijal, servis i održavanje uključuju sve rezervne dijelove koje je potrebno redovito mijenjati, kao i sve potrepštine za održavanje i slično. Pri planiranju kupnje robota, potrebno je biti upoznat sa uvjetima pružanja usluge i planom održavanja kako bi bili isplanirani svi troškovi koji će proizaći iz jamstva.

▸ Mjesečni trošak =  $1/12$  godišnje procjene

- (€) Zbrinjavanje (prilikom kupnje rješenja)

Neki dijelovi robota mogu zahtijevati posebno odlaganje i možda će za to biti potrebni troškovi zbrinjavanja (ovo se može razlikovati ovisno o nadležnosti).

▸ Jednokratni trošak (na kraju očekivanog životnog ciklusa proizvoda)

- (vrijeme) Korištenje / učinkovitost

Aproksimaciju ukupnog gubitka produktivnosti zbog zastoja početne instalacije i obuke radnika, punjenja, podešavanja, servisa i održavanja.

- Mjesečni gubitak =  $1/12$  godišnje procjene zastoja u satima \* prosječni prihod po satu zaposlenika

## 5.2. Studija slučaja: DB Schenker

Inicijalni kontakt sa kompanijom DB Schenker dogodio se na prezentaciji Giden Brothers koncepta na natjecanju za „Best International Mobility & Logistic Startup“. Tom prigodom uspjeli su impresionirati vodećeg člana tvrtke zaduženog za inovacije u DB Schenker kompaniji, koji je događaju nazočio u ulozi člana žirija. Nakon osvajanja nagrade pokrenuti su pregovori o suradnji te u konačnici ugovoren pilot projekt robotizacije skladišnih operacija (Gideon Brothers, intervju 2020).

Kompanija DB Schenker vodeći je svjetski pružatelj usluga logistike, a svoje djelovanje ostvaruju kopnenim, zračnim i morskim prijevozom na globalnoj razini, ugovornom logistikom i upravljanjem lancem opskrbe. Kompanija posluje na 2100 lokacija u svijetu, zapošljava preko 76900 djelatnika i upravlja sa 8,4 milijuna četvornih metara skladišnog prostora u preko 50 zemalja. DB Schenker u samom je vrhu po pružanju usluga za automobilsku industriju, trgovinu robom široke potrošnje, tehnološku industriju, logistiku na sajmovima i posebnim događajima te u organizaciji posebnih prijevoza (DB Schenker, 2020).

Pogon u Leipzigu najveći je opskrbni centar DB Schenker kompanije u svijetu. U logističkom centru površine 125000 m<sup>2</sup> zaposleno je 800 djelatnika, 150 kamiona dnevno doprema robu dok prosječni dnevni volumen otpremljene robe iznosi 4500 m<sup>3</sup>. Centar posluje kao 3PL logistički centar za istaknutog njemačkog proizvođača automobila i središte je opskrbe njihovih prekomorskih proizvodnih pogona. Upravo je pogon u Leipzigu odabran za pilot projekt s tvrtkom Giden Brothers (Gideon Brothers, 2020).

Prilikom planiranja projekta definirane su potrebe (Gideon Brothers, 2020):

- Automatizacija

Rješenje koje povećava učinkovitost i protok, pružajući jasne prednosti i potičući rast, kao i omogućavanje zaposlenicima u skladištu da se usredotoče na zadatke s dodanom vrijednosti i smanje fizički zahtjevan i ponavljajući posao.

- Fleksibilna implementacija

Tvrtka traži rješenje koje će omogućiti jednostavnu i modularnu implementaciju, ne zahtijevajući promjene postojeće infrastrukture i onu koju je lako prilagoditi.

- Dosljednost u vrlo dinamičnom okruženju

Kupcu je potrebno rješenje koje dosljedno djeluje u vrlo dinamičnom okruženju koje se neprestano mijenja, dijeli prostor sa zaposlenicima i pokretnom opremom.

- Jednostavnost upotrebe

Jednostavnost upotrebe smatrala se kritičnim zahtjevom, ne samo da bi se omogućila uspješnija primjena, već i radi rješavanja nesigurnosti zaposlenika.

- Pokazivanje inovativnog zanos

Nove tehnologije donose priliku, a tržišni lider mora održati inovativni zanos kako bi demonstrirao svojim dioničarima, uključujući kupce i zaposlenike, kako grade mogućnosti za budući rast.

Prije početka pilot projekta organiziran je test za konačno prihvaćanje rješenja tvrtke Gideon Brothers u samom centru u Leipzigu. Test je koncipiran na način da u prvi plan stavlja mogućnosti lociranja interesnih točaka i izbjegavanje prepreka. Robot je prošao test s velikim uspjehom uspjevši detektirati, između ostalog, i spuštene vilice praznog viličara koje po sigurnosnim protokolima van upotrebe moraju biti spuštene u najnižu točku. Opremljen samo LiDAR senorom to ne bi bio u stanju i sofisticiranost rješenja tvrtke Gideon Brothers za to je dobila potvrdu u obliku konačne odluke o početku projekta (Gideon Brothers, 2020).

Za projekt su angažirana tri robota, nosača paleta, u ulozi suradničkih logističkih robota na poslovima povezanim sa redovnim ispunjavanjem narudžbi, ubrzavajući obradu narudžbi i omogućavajući zaposlenicima da se usredotoče na složenije zadatke. Za potrebe pilot projekta predefinirovano je između 20 i 30 *on demand* zadataka koje zaposlenici aktiviraju pritiskom na tipku. Tipična misija predložka nalaže robotu da transportnu kutiju s novom serijom ambalaže transportira na jedan od stolova na kojem zaposlenici pakiraju narudžbe za otpremu. Zaposlenici na svakom od mjesta pakiranja, svojim radnim mjestima, mogu pokrenuti misije predložaka s nekoliko klikova na svom terminalu. Na taj način zaposlenici nisu morali prekidati svoje radnje radi manipulacije ambalažom, kao prije projekta (Gideon Brothers, 2020).

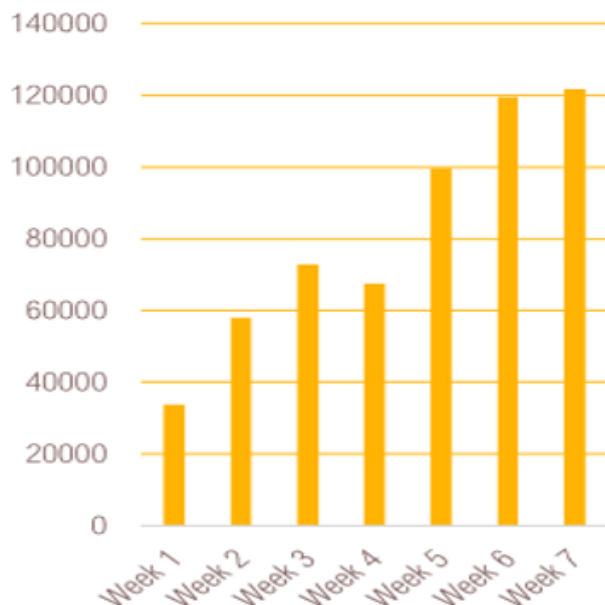
Pripremne radnje za projekt uključivale su (Gideon Brothers, 2020):

- Analizu tijeka rada kako bi se utvrdili najbolji načini upotrebe robota
- Utvrđivanje ključnih pokazatelja poslovanja za mjerenje povećanja učinkovitosti
- Podrška u komunikaciji i upravljanju promjenama, uključujući materijale kao što su videozapisi i pozadinske informacije (pravovremene i prikladne informacije za zaposlenike ključ su osiguranja pozitivnog stava)
- Pružanje edukacija i korisničke dokumentacije
- Tehničku pripremu u smislu početnog mapiranja i prikupljanja skupova podataka o slikama. Za tu potrebu robot je vođen kroz prostor kako bi se omogućilo sustavu da mapira prostora i prikupi slika za osposobljavanje algoritama za prepoznavanje predmeta.
- Marketinšku podršku za unutarnju i vanjsku komunikaciju

U inicijalno fazi projekta terenski inženjeri tvrtke Gideon Brothers pružali su podršku na licu mjesta sprovodeći edukaciju prvih nekoliko dana, a zatim u pripravnosti idućih nekoliko tjedana. Tokom trajanja cijelog projekta bila je osigurana podrška na daljinu koja je uključivala modifikacije na aplikaciji za upravljanje sustavom prema željama korisnika (Gideon Brothers, 2020).

Nakon nekoliko tjedana trajanja projekta, a na zahtjev korisnika, upotreba robota proširena je dodavanjem značajnog broja interesnih točaka. Tako je ukupna udaljenost koju su roboti prešli obavljajući *on demand* zadatke povećana četiri puta prije kraja drugog mjeseca korištenja u odnosu na početne tjedne i iznosila je preko 120 kilometara (Gideon Brothers, 2020).

Graf 4. Prijedena udaljenost robota po tjednima



Izvor: Gideon Brothers

Sa povećanjem prijedeneh kilometara, povećala se i frekvencija upotrebe robota. Primjećeno je znatno manje prekida operacija pakiranja čime su unaprijeđeni procesi, učinkovitost i ergonomija ne radnim mjestima zaposlenika. Lokalizacija i navigacija robota pokazivala je konstantno uspješne rezultate u vrlo dinamičnom okruženju distribucijskog centra, a aplikacija za upravljanje učinkovitost i jednostavnost korištenja kojom je operativno osoblje skladišta upravljalo u svim radnim procesima (Gideon Brothers, 2020).

Osoblje tvrtke Gideon brothers je svijesno psihološkog aspekata promjena vezanih za uvođenje novih tehnologija, stoga je bilo fokusirano na edukaciju i bilo spremno reagirati na zahtjeve kako bi se izbjegle bilo kakve negativne reakcije. Pozitivana reakcija i uključenost operativnog osoblja distributivnog centra bila je ključna za uspješnost projekta. Tome u prilog dodatno ide „činjenica da je osoblje robote nazvalo prema likovima iz popularne znanstveno-fantastične emisije Zvezdane staze - Kirk, Spock i McCoy - i zatražilo da roboti reproduciraju glazbenu temu iz serije umjesto standardnih signala upozorenja“ (Gideon Brothers, 2020).

Nakon istaka tromjesečnog razdoblja, na koji je pilot projekt ugovoren, iz DB Schenkera je objavljeno da je projekt uspješno sproveden i da pokreću zajedničku komunikacijsku kampanju s tvrtkom Giden Brothers. Trenutno su u tijeku pregovori o novim projektima, u Leipzigu ali i

ostalim lokacijama, za daljnij upotrebi tehnologije Gideon Brothers u dinamičnom logističkom okruženju distributivnih centara DB Schenker (Gideon Brothers, 2020).

## 6. ZAKLJUČAK

Logistika je vrlo dinamično područje. Dinamiku ne određuje samo protok robe, ljudi ili informacija kroz sustav, već i ritam promjena uzrokovanih tehnološkim napretkom i sve raznovrsnijom ponudom usluga u logističkom sektoru. Značaj logistike u suvremenom društvu prerastao je tehničko pitanje premiještanja dobara, za šta je logistika dosta dugo bila smatrana, i opravdano promovirao logistiku u granu znanstvenog područja. Napredak mogućnosti transporta, uz razvoj interneta, imao je vjerojatno najveći utjecaj na proces globalizacije, unaprijedivši mobilnost ljudi i dostupnost proizvoda. Porastom potražnje za logističkim uslugama, porasle su potrebe logističkih tvrtki za radnom snagom, mehanizacijom i poslovnim prostorima te razvoj novih tehnika i tehnologija.

Razvoj tehnologije odvijao se postepeno, primjenjujući dostignuća iz drugih znanstvenih područja. Tehničke znanosti i industrijske grane, kao što su strojarstvo, elektrotehnika ili računarstvo, iznjedrile su mnoga rješenja koja su svoju primjenu našla u logističkim operacijama, nadopunjujući ljudski rad. Uvođenjem mehanizacije bitno su olakšani i ubrzani poslovi manipulacije, što je postavilo temelje za automatizaciju logističkih operacija. Automatizacijom procesa mijenja se metodologija operacija i pojavljuje potreba za naprednijim sustavima upravljanja, kako u procesima kretanja dobara, tako i u procesima donošenja odluka.

Skladišni sustavi, sa svojom definiranom metodologijom procesa, idealan su okoliš za testiranje i implementaciju novih tehnologija. Obzirom da su skladišta zastupljena u svim segmentima lanca opskrbe, od izvora sirovina, preko proizvođača i distributera do maloprodaje, njihova učinkovitost vrlo je bitna za funkcioniranje čitavog lanca opskrbe. Na skladišno poslovanje, kao i poslovanje uopće, veliki utjecaj imaju promjene i trendovi u trgovini. Rast maloprodaje, u prvom redu online trgovine, dovodi do promjena u frekvencijama i količinama otpremljenih narudžbi. Veći asortiman proizvoda i konkurencija na tržištu slično utječu na skladišno poslovanje i kao rezultat javljaju se zahtjevi za kraćim rokovima isporuka i veća frekvencija manjih narudžbi. Kako bi tvrtke udovoljile takvim zahtjevima, potrebno im je sve više radne snage i skladišnog prostora. Sa problemom pronalaska kvalitetnih zaposlenika, njihovom edukacijom, a posebno zadržavanjem na poslovima skladištenja, suočava se sve veći broj tvrtki pogotovo u razvijenijim zamljama, a opseg i frekvencija u poslovanju povećava potrebu za automatizacijom procesa.



Robotika je trenutno posljednji stupanj automatizacije u skladišnom poslovanju. U robotici su objedinjena oba smjera automatizacije, proces kretanja dobara i proces donošenja odluka, sa širokim mogućnostima primjene koju autonomija takvih rješenja nudi. Na razvoj robotike utjecao je napredak u mnogim srodnim područjima kao što su mobilna telefonija i računarstvo, sa usavršavanjem komponenti za obradu podataka, bežičnu komunikaciju i prijenos podataka te univerzalnim softverskim rješenjima, ili industrija računarnih igara, koja je doprinjela razvoju simulacijskih okruženja i komponenti računarne grafike. Skladišta, kao zatvoreni sustavi specifične konfiguracije prostora i metodologije procesa, pružaju pogodan teren za robotizaciju operacija u svrhu podizanja učinkovitosti i pouzdanosti. Robotizaciju skladišnih operacija moguće je ostvariti parcijalno, robotizirajući određene operacije, ili integracijom s postojećim nadređenim sistemima upravljanja skladištem. Trenutno su u upotrebi najzastupljenije robotske jedinice sa autonomnim mogućnostima kretanja u prostoru, za koje se predviđa daljnji eksponencijalni rast proizvodnje i implementacija u nadolazeći godinama.

Robotizacija skladišnih operacija izvodi se s ciljem povećanja učinkovitosti, pouzdanosti i sigurnosti te smanjenja potrebe za ljudskim radom. Poslovi koji su fizički zahtjevni, ponavljaju se i nisu kompleksni za izvođenje, najpovoljniji su za automatizaciju implementacijom robotskih rješenja, iako su roboti sposobni izvršavati sve složenije operacije kako tehnologija napreduje. Bez obzira na taj podatak, veliki broj tvrtki još uvijek je rezerviran kada je riječ o upotrebi tako inovativne tehnologije koja se tek dokazuje na operativnom nivou. Takav rezerviran pristup vidljiv je i iz izazova koji se javljaju pri samoj implementaciji rješenja, gdje operativno osoblje ne gleda uvijek blagonaklono na tehnologiju koja im potencijalno može postati konkurencija. Tvrtke koje imaju velike potrebe za radnom snagom i mogu financirati uvođenje najnovije tehnologije trenutno ne smanjuju broj zaposlenika nego naglasak stavljaju na suradničkom pristupu radu ljudi i robota, kao novog alata koji opslužuje zaposlenike u izvršavanju skladišnih operacija, što ostavlja zaposlenicima više radnog vremena koje mogu posvetiti složenijim zadacima.

U Hrvatskoj postoji primjer uspješnog razvoja vrhunske robotske tehnologije, tvrtka Gideon Brothers, koja je od startup-a dospjela do ugovora sa jednom od vodećih 3PL tvrtki u svijetu. Zahvaljujući inovativnim rješenjima kojima je ciljan sam vrh segmenta, u smislu tehničke kompleksnosti i mogućnosti proizvoda, prepoznati su u svijetu kao veliki razvojni potencijal, o čemu svjedoče međunarodne nagrade.

Budućnost robotizacije skladišnih operacija nije upitna. Napredak tehnologije nije moguće ignorirati, a faktori kao što su rast maloprodaje i rizik dostupnosti radne snage služe kao akcelerator procesa. Prema svemu navedenom hipoteza rada je prihvaćena. Tvrtke će, kao bi ostale konkurentne i odoljevale novim izazovima u poslovanju, morati usvojiti idući stupanj automatizacije, a to je robotizacija skladišnog poslovanja.



## Sveučilište Sjever

### IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Davor Vukelić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom „Primjena robota u skladišnom poslovanju“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Davor Vukelić




(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Davor Vukelić neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom „Primjena robota u skladišnom poslovanju“ čiji sam autor.

Student:

Davor Vukelić



(vlastoručni potpis)

## Literatura

### Knjige – tiskana izdanja

1. Andrijanić, I., Grgurović, D. 2011. Poslovna logistika, Visoka škola za ekonomiju, poduzetništvo i upravljanje „Nikola Šubić Zrinski“, Zagreb
2. Baletić, Z. (2003): Ekonomski leksikon, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Mashmedia, Zagreb
3. Grand View Research, 2019; Automated Guided Vehicles (AGVs) Market, USA
4. Hruškar, N., Šiljag, K. 1985. Skladišno poslovanje, Školska knjiga, Zagreb
5. Kesić, B., Jugović, A., Perko, N. 2004. Potrebe i mogućnosti organizacije logističko – distribucijskog centra u riječkoj regiji. Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
6. Reese, M.R. 2014. The steam-powered pigeon of Archytas – the flying machine of antiquity
7. Regodić, D. 2010. Logistika. Univerzitet Singidunum, Beograd
8. Ross, A. 2016. The Industries of the Future. Simon and Schuster, New York
9. Zelenika, R. 2005. Logistički sustavi. Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka
10. Zelenika, R., Pupavac, D. 2008, Menadžment logističkih sustava, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

### Knjige – internetska izdanja

11. Blackledge, J. 2020. Deus ex machina, part II. Massrobotics, [online]. Dostupno na: <https://www.massrobotics.org/wp-content/uploads/2020/02/11-14-19-Deus-Ex-Machina-Part-II-1.pdf> [12.09.2020.]
12. Boisset, F. 2018. The History of Industrial Automation in Manufacturing. Kingstar, [online]. Dostupno na: <https://kingstar.com/the-history-of-industrial-automation-in-manufacturing/> [27.09.2020.]
13. Ceraol, K. 2019. The Impacts of E-commerce: Fulfillment Challenges and Improvement Priorities. Peerless Research Group, [online]. Dostupno na: <https://www.peerlessresearch.com/2019/07/honeywellintegrated-mmh-0418/> [26.09.2020.]
14. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 26. 9. 2020. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=39894>

15. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno 26. 9. 2020. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=4744>
16. Phipps, A. Logistics Outlook 2020. Cushman and Wakefield, [online]. Dostupno na: [2020; https://www.cushmanwakefield.com/en/united-kingdom/insights/logistics-real-estate-outlook-2020](https://www.cushmanwakefield.com/en/united-kingdom/insights/logistics-real-estate-outlook-2020) [14.09.2020.]

#### Članci – internetska izdanja

17. About Amazon Staff, 2019. What robots do (and don't do) at Amazon fulfilment centres. About Amazon, [online]. Dostupno na: <https://www.aboutamazon.co.uk/amazon-fulfilment/what-robots-do-and-dont-do-at-amazon-fulfilment-centres> [26.09.2020.]
18. Cocozza, R. 2019. How Sortation Can Optimize Your Pick System. Conveyco, [online]. Dostupno na: <https://www.conveyco.com/sortation-can-benefit-pick-system/> [27.09.2020.]
19. Groover, M. P. 2002. Automation. Britannica, [online]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/technology/automation> [26.09.2020.]
20. Maruna P., Maruna K., Barbic N. 2014. Rani počeci razvoja robota, [online]. Dostupno na: <http://web.studenti.math.pmf.unizg.hr/~kmaruna/odabranetemeracunarstva/rani%20pocetci.html> [12.09.2020.]
21. McFadden, M. 2020. The History of Robots: From the 400 BC Archytas to the Boston Dynamics' Robot Dog. Interesting engineering, [online]. Dostupno na: <https://interestingengineering.com/the-history-of-robots-from-the-400-bc-archytas-to-the-boston-dynamics-robot-dog> [22.09.2020.]
22. Michel, R. 2019. 2019 Warehouse/DC Operations Survey: Tight labor and space pressure drives a technology surge. Material handling 247, [online]. Dostupno na: [https://www.materialhandling247.com/article/2019\\_warehouse\\_dc\\_operations\\_survey\\_tight\\_labor\\_and\\_space\\_pressure\\_drives\\_a/Peerless\\_Research\\_Group](https://www.materialhandling247.com/article/2019_warehouse_dc_operations_survey_tight_labor_and_space_pressure_drives_a/Peerless_Research_Group) [18.09.2020.]
23. Nichols, G. 2020. Robotics in the enterprise. TechRepublic, [online]. Dostupno na: <https://www.techrepublic.com/resource-library/whitepapers/robotics-in-the-enterprise-free-pdf/> [15.09.2020.]
24. Reiser, C. 2019. The Warehouse Labor Gap is Unsustainable. Logistics viewpoints, [online]. Dostupno na: <https://logisticsviewpoints.com/2019/03/20/warehouse-labor-gap-unsustainable/> [20.09.2020.]

25. RoboBusiness, 2019. Warehouse Automation : Rise of Warehouse Robots. RoboBusiness, [online]. Dostupno na: <https://www.roboticsbusinessreview.com/wp-content/uploads/2019/10/RiseOfTheWarehouseRobots-LogisticsIQ.pdf> [20.09.2020.]
26. RoboticsBiz, 2020. The future of robotics in logistics and supply chain [Updated]. RoboticsBiz, [online]. Dostupno na: <https://roboticsbiz.com/the-future-of-robotics-in-logistics-and-supply-chain/> [23.09.2020.]
27. Santagate, J. 2020. Back to the Basics of Supply Chain Robotics. HighJump, [online]. Dostupno na: <https://blog.highjump.com/back-to-the-basics-of-robotics-in-supply-chain-and-warehouse-management> [25.09.2020.]
28. Sharma, A. 2020. AMRs for Logistics Reaches \$9B by 2024, a 10X Increase Over 2020 – Interact Analysis. Robotics Business Review, [online]. Dostupno na: <https://www.roboticsbusinessreview.com/rbr/amrs-for-logistics-reaches-9b-by-2024-a-10x-increase-over-2020-interact-analysis/> [22.09.2020.]
29. Trottmann, M., Zhang, S. 2017. The trend towards warehouse automation. Westernacher & Partner Consulting Inc, [online]. Dostupno na: [https://westernacher-consulting.com/wp-content/uploads/2017/11/Whitepaper\\_Trend\\_to\\_Automation\\_FINAL\\_s.pdf](https://westernacher-consulting.com/wp-content/uploads/2017/11/Whitepaper_Trend_to_Automation_FINAL_s.pdf) [22.09.2020.]
30. Wu X., Haynes M., Guo A., Starner T., 2016. A Comparison of Order Picking Methods Augmented with Weight Checking Error Detection. Georgia Institute of Technology, [online]. Dostupno na: <https://guoanhong.com/papers/ISWC16-OrderPicking.pdf>

#### Internet

31. DB Schenker, 2020. About us. DB Schenker, [online]. Dostupno na: <https://www.dbschenker.com/global/about/profile> [27.09.2020.]
32. Fetch Robotics, 2018. Fetch Mobile Manipulator. Fetch Robotics, [online]. Dostupno na: <https://fetchrobotics.com/robotics-platforms/fetch-mobile-manipulator/> [26.09.2020.]
33. Fetch Robotics, 2017. Specifications. Fetch Robotics, [online]. Dostupno na: [https://fetchrobotics.com/wp-content/uploads/2018/04/Fetch\\_robot\\_spec\\_overview.pdf](https://fetchrobotics.com/wp-content/uploads/2018/04/Fetch_robot_spec_overview.pdf) [26.09.2020.]
34. Gideon Brothers, 2019. Six reasons behind the logistics robot boom. Gideon Brothers, [online]. Dostupno na: <https://www.gideonbros.ai/trending/six-reasons-behind-the-logistics-robot-boom/> [13.09.2020.]

35. Gideon Brothers, 2020. Solutions. Gideon Brothers, [online]. Dostupno na: <https://www.gideonbros.ai/autonomous-logistics-robots-solve-supply-chain-and-manufacturing-problems/> [13.09.2020.]
36. MHI, 2020. Pick to Light. MHI, [online]. Dostupno na: <https://www.mhi.org/solutions-community/solutions-guide/pick-to-light>
37. ROS.org, 2020. About ROS. ROS, [online]. Dostupno na: <https://www.ros.org/about-ros/>
38. SSI Schaefer, 2014. From Man to Goods to Goods to Man. SSI Schaefer, [online]. Dostupno na: <https://www.ssi-schaefer.com/en-sg/best-practices-trends/intralogistics-innovations-trends-singapore/from-man-to-goods-to-goods-to-man-248666>

## Popis slika, grafikona i tablica

### Popis slika

Slika 1. Distributivni centar .....	7
Slika 2. Postotak korištenih utovarnih jedinica u SAD-u, 2016 .....	9
Slika 3. Sustav konvejera .....	14
Slika 4. Sustav automatiziranog skladištenja i odlaganja .....	15
Slika 5. Antička mehanička ptica.....	17
Slika 6. Model robota Leonarda da Vinci.....	18
Slika 7. Teslin bežični torpedo.....	19
Slika 8. Unimate – prvi industrijski robot.....	20
Slika 9. Robotski sistemi paletizacije .....	28
Slika 10. Fetch by Fetch Robotics .....	29
Slika 11. Robotske ruke za dohvata i prijenos.....	30
Slika 12. Svjetsko tržište automatizacije u skladišnom poslovanju u 2025.....	31
Slika 13. Amazon Robotics jedinica.....	33
Slika 14. Semantički vid - prepoznavanje oblika.....	35
Slika 15. Robot za rukovanje paletama.....	36
Slika 16. Stanica za rukovanje paletama.....	37
Slika 17. Primjer sheme za upotrebu .....	38

### Popis grafikona

Graf 1. Broj zaposlenih na poslovima skladištenja i godišnji rast.....	10
Graf 2. Porast tržišta logističkih usluga u 2020. ....	22
Graf 3. Tržišni udio AGV-a prema primjeni od 2018. do 2025. ....	32
Graf 4. Prijedena udaljenost robota po tjednima .....	45

### Popis tablica

Tablica 1. Svjetsko tržište AGV-a u logistici i skladištenju od 2014. do 2025. ....	32
---	----