

# Tehnološki trendovi u prehrambenoj industriji - autmatizacija i robotika

---

Ljubić, Franko-Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:621491>

*Rights / Prava:* [Attribution-ShareAlike 4.0 International / Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

# DIPLOMSKI RAD

Zagreb, veljača 2022

Franko Dominik Ljubić

**TEHNOLOŠKI TRENDVI U  
PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI –  
AUTOMATIZACIJA I ROBOTIKA**

Rad je izrađen u Kabinetu za osnove inženjerstva na Zavodu za procesno inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof. dr. sc. Mirjane Čurlin.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Zavod za procesno inženjerstvo  
Kabinet za osnove inženjerstva

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Prehrambeno inženjerstvo

### TEHNOLOŠKI TRENDOVI U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI – AUTMATIZACIJA I ROBOTIKA

*Franko Dominik Ljubić, univ. bacc. ing. techn. aliment.*

0601995330044

**Sažetak:** Stalnim praćenjem trendova, proizvođači industrijskih robota i znanstvenici, unaprjeđuju postojeće robote kako bi odgovorili specifikacijama i zahtjevima pojedinih industrija. Napretkom tehnologije pristupačnost industrijskih robota u brojnim industrijama se znatno povećala. Po broju instaliranih kapaciteta prehrambena industrija zbog specifičnosti i posebnih zahtjeva u pogledu higijenskih standarda te različitih materijala daleko je manje zastupljena, ali se može uočiti blagi linearni porast. U ovom radu prikazan je povijesni pregled i osnove rada robotskih i automatizacijskih sustava te njihove primjene u prehrambenoj industriji. Naglašeni su inovacijski ciljevi prehrambene industrije te su prikazane svjetske projekcije rasta instaliranih robotskih jedinica, rasprostranjenosti robota po kontinentima te podjela po industrijama.

**Ključne riječi:** *industrijski robot, automatizacija, hrana, prehrambena industrija*

**Rad sadrži:** 44 stranica, 21 sliku, 0 tablica, 51 literaturnih navoda, 0 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u:** Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** prof. dr. sc. Mirjana Čurlin

**Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:**

1. prof. dr. sc. Sandra Balbino (predsjednik)
2. prof. dr. sc. Mirjana Čurlin (mentor)
3. prof. dr. sc. Jasna Mrvčić (član)
4. izv. prof. dr. sc. Josip Čurko (zamjenski član)

**Datum obrane:** 16 veljače 2022

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**Department of Process Engineering**  
**Laboratory for Fundamental Engineering**

**Scientific area:** Biotechnical Sciences

**Scientific field:** Food Technology

**Graduate university study programme:** Food Engineering

Technological trends in the food industry – automation and robotics

*Franko Dominik Ljubić, univ. bacc. ing. techn. aliment.*

0601995330044

**Abstract:** Industrial robot manufacturers and researchers are constantly monitoring the trends and improving the existing robots to meet the specifications and requirements of each industry. With the advancement in technology, the availability of industrial robots has increased significantly in many industries. In terms of installed capacity, the food industry is far less represented due to the peculiarities and special requirements related to hygiene standards and different materials, but a slight linear increase can be observed. In this paper, a historical overview and the basics of robotic and automation systems and their applications in the food industry are presented. The innovation goals of the food industry are highlighted, and the global forecasts for the growth of installed robotic units, the distribution of robots by industry and allocation by continent are presented.

**Keywords:** *industrial robot, automation, food, food industry*

**Thesis contains:** 44 pages, 21 figures, 0 tables, 51 references, 0 supplements

**Original in:** Croatian

**Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in:** The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

**Mentor:** Mirjana Čurlin, PhD, Full professor

**Reviewers:**

1. Sandra Balbino, PhD, Full professor (president)
2. Mirjana Čurlin, PhD, Full professor (mentor)
3. Jasna Mrvčić, PhD, Full professor (member)
4. Josip Čurko, PhD, Associate professor (substitute)

**Thesis defended:** 16th February 2022

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	3
2.1. TEHNOLOŠKI RAZVOJ .....	3
2.2. POVJSET ROBOTIKE I INDUSTRIJSKIH ROBOTA .....	3
2.2.1. Prva generacija robota .....	4
2.2.2. Druga generacija robota .....	6
2.2.3. Treća generacija robota .....	8
2.2.4. Četvrta generacija robota.....	10
2.3. KONFIGURACIJA ROBOTA.....	11
2.3.1. Senzori i robotski vid.....	14
2.3.2. Tehnologija hvataljki.....	15
2.4. PODJELA ROBOTA .....	16
2.4.1. Industrijski fiksni roboti .....	17
2.4.2. Mobilni roboti.....	18
2.4.3. Egzosekleti .....	19
3. VAŽNOST UPORABE AUTOMATIZACIJSKIH I ROBOTSКИH SUSTAVA.....	21
3.1. PRIMJENA AUTOMATIZACIJSKIH I ROBOTSКИH SUSTAVA U PREHRAMBENOM I AGRO SEKTORU .....	22
3.2. PRIMJERI PRIMJENE INDUSTRIJSKIH I MOBILINIХ ROBOTA UNUTAR PREHRAMBENE INDUSTRIJE I AGRO SEKTORA U SVIJETU .....	23
3.2.1. Industrija mlijeka i sira.....	23
3.2.2. Industrija mesa .....	24
3.2.3. Industrija voća i povrća .....	25
3.2.4. Ribarstvo i akvakultura.....	28
3.2.5. Konditorska industrija .....	29
3.3. ROBOTIKA U PAKIRANJU I PALETIZIRANJU HRANE.....	29
3.4. USLUŽNI ROBOTI U INDUSTRIJI HRANE .....	30
3.5. PRIMJENA ROBOTSКИH I AUTOMATIZACIJSKIH SUSTAVA U INDUSTRIJI U HRVATSKOJ.....	31
4. IZAZOVI I INOVACIJSKI CILJEVI U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI.....	33
4.1. SVJETSKE PROJEKCIJE PRIMJENE ROBOTA U INDUSTRIJI .....	36
5. ZAKLJUČAK .....	39
6. LITERATURA.....	40

# 1. UVOD

Na početku smo četvrte industrijske revolucije i nove tehnologije prožimaju sve segmente društva te u potpunosti mijenjaju način na koji živimo, radimo i međusobno komuniciramo. Tehnološki trendovi – poput automatizacije, robotike i digitalizacije, u sve većoj mjeri ulaze u industrijske pogone, pa i prehrambeni sektor tu nije izuzetak.

Mnoge države danas se suočavaju sa sve starijim stanovništvom i problemima povezanim s činjenicom da novije generacije sve više teže mentalnim izazovima. Ljudi su manje spremni prihvatiti dosadne, prljave, opasne poslove. Brojne industrije se danas suočavaju s nedostatkom radne snage s odgovarajućim vještinama. Kako bi nadoknadili nedostatak radne snage te zadovoljili veliku potražnju odnosno odgovorili na potrebe industrija s neprivlačnim poslovima i izraženom fluktuacijom radnika, mnogi proizvođači svoje pogone moderniziraju uvođenjem automatizacije i robotike te primjene digitalizacije (internet stvari, IoT, engl. “*internet of things*” i umjetne inteligencije, AI, engl. *Artificial Intelligence*) (Demartini i sur., 2018). Primjenom ovih elemenata Industrije 4.0 postiže se fleksibilnost proizvodnih linija, mogućnost rekonfiguracije postrojenja te povećana učinkovitost i produktivnost.

Stalnim praćenjem trendova proizvođači industrijskih robota i znanstvenici, unaprijeđuju postojeće robote kako bi odgovorili specifikacijama i zahtjevima proizvođača hrane. Robotski sustavi primjenjuju se u svim segmentima prehrambeno proizvodnog procesa, ali najčešće je to u završnom djelu proizvodnje, tj. pakiranju i paletiziranju hrane. Razvoj tehnologije izrade i programiranja robota omogućava primjenu ove tehnologije u području nadzora i upravljanja sigurnošću hrane.

Tema ovog rada potaknuta je potrebom upoznavanja prehrambenih tehnologa s mogućnostima primjene novih tehnoloških trendova jer je zadaća inženjera tehnologa u prehrambenoj i biotehnološkoj proizvodnji zasnivati konkurentnost svojih poduzeća na većoj primjeni suvremenih tehničkih rješenja, a ona se danas ne mogu zamisliti bez primjene robotike. Suvremeni zahtjevi proizvodnje u procesnoj industriji podrazumjevaju i veću primjenu različitih vrsta robota kako u masovnoj proizvodnji tako i u malim i srednjim poduzećima.



Samo inovativnošću i unaprijeđenjem postojećih postupaka u proizvodnji moguće je premostiti prepreke, koje se postavljaju pred inženjere tehnologe u prehrambenoj industriji, za ostvarenje kvalitativnih, kvantitativnih, ekoloških i ekonomskih zahtjeva. U radu je stavljen naglasak na osnove i pregled robotskih sustava te mogućnosti njihove primjene u prehrambeno proizvodnom sektoru te agro industrijskoj proizvodnji. Prikazana je svjetska projekcija rasta instaliranih robotskih jedinica, rasprostranjenosti robota po kontinentima te podjela po industrijama.

## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1. TEHNOLOŠKI RAZVOJ**

Tehnološki razvoj svijeta od 19. stoljeća do danas promatramo preko prve industrijske revolucije koja je obilježena izumom parnog stroja, druge industrijske revolucije, kojoj je neprocjenjiv doprinos dao Nikola Tesla, a obilježena je elektrifikacijom. Treća i četvrta industrijska revolucija također počivaju na Teslinim idejama i zahvaljujući snažnom razvoju elektronike, računala i informatizacije u trećoj industrijskoj revoluciji imamo eru automatizacije proizvodnih i radnih procesa visoke razine i uvođenje robotskih sustava. Brzim tehnološkim napretkom danas kao pokretače četvrte industrijske revolucije imamo digitalizaciju i digitalnu transformaciju te pojavu disruptivnih tehnologija koje vode razvoj industrije prema pametnim tvornicama.

### **2.2. POVJSET ROBOTIKE I INDUSTRIJSKIH ROBOTA**

Ideja o proizvodnji uređaja koji bi mogao obavljati repetitivne i teške poslove, time olakšavajući ljudima radne uvjete, datira od antičkih vremena. Prve pojave datiraju iz drevne Grčke gdje su izumitelji tog doba radili naprave zvane “automata”. Riječ “automata” u prijevodu znači humanoidni uređaj ili stroj. Riječ robot dolazi od Češke riječi “robota” koja u prijevodu znači prisilni rad.

Pojam “robot” pojavljuje se početkom 20. stoljeća u knjigama Češkog pisca Karela Čapeka koji je prvi puta iskoristio ime robot ili “robota” 1920. god. u svojoj knjizi *Rossumovi roboti R.U.R.* (*Rossum’s Universal Robots*). Čapek robotima naziva mehaničke ljude koj rade u tvornicama i prema njemu roboti su mehanički savršeni i imaju izuzetno veliku inteligenciju. Od tada pa do pojave prvih suvremenih robota nastalih u SAD-u 50-tih godina pa sve do danas definicija robota se mijenja usporedno s razvojem i primjenom robota. Razvoj robotskih sustava danas dosegao je visoki nivo pa u uporabi možemo naći različite vrste robota od manipulatora (serijskih, paralenih, mikro i nano robota), različitih robotskih vozila (kopnenih, vodenih, zračnih), sustava robot-čovjek (haptičnih i egzoskeleta) do biološki zasnovanih robota (humanoida) (Bebek i Čurlin, 2018). Ako govorimo o robotima koji se

koriste u industrijskoj proizvodnji onda su to uglavnom roboti – manipulatori. Pojam robotike se prvi puta spominje 1942. god. u književnom djelu američkog pisca Isaaca Asimova “Runaround” koja je dio serijala “I, Robot“. Asimov u svojoj knjizi navodi tri pravila po kojima bi se robot trebao ponašati prema ljudima što je kasnije prevedeno u Tri Zakona Robotike.

Robot se može definirati kao programibilan, samokontrolirani uređaj koji se sastoji od elektronskih ili mehaničkih dijelova. Robot je mehanizam koji funkcionira na način da oponaša živi organizm. Prema Britanskoj robotskoj asocijaciji (British Robot Association), “industrijski robot je programibilan uređaj dizajniran za manipulaciju i/ili transport dijelova, alata ili specifičnih proizvoda uz pomoć programiranih pokreta za izvedbu specifičnih industrijskih radnji”. Prema International Standard Organisation ISO robot je definiran kao automatski kontroliran, reprogramibilan, više namjenski i manipulativni uređaj s određenim brojem slobode kretanja, koji može biti u fiksnoj poziciji ili pokretan i koristi se u industrijskoj automatizaciji.

Roboti su posebice poželjni u određenim poslovima gdje postoji potreba da svojim djelovanjem zamijene ljude, bilo da se radi o onečišćujućoj atmosferi ili u sredinama s ekstremnim temperaturama. Prema Nayik i sur. (2015) i Agrawal i sur. (2010) robot je moćan i pouzdan stroj i može se koristiti u vrućim ili hladnim sredinama, u okruženju bez kisika i tamo gdje bi čovjek nakon dužeg rada postao umoran ili bolestan.

Primjena industrijskih robota je dostigla zamah 1950. god. što se smatra početkom industrijske robotike. Povijest industrijske robotike se može podijeliti u četiri kategorije gdje prve tri obilježavaju period od 1950. do 1999. god. i četvrtu generaciju robota od 2000. god. do danas. Ubrzanim razvojem robotike zadnjih godina i razvojem umjetne inteligencije, stručnjaci smatraju da je sofisticiranost robota prešla kriterije četvrte generacije i da je zapravo ovo početak pete generacije robota.

### 2.2.1. Prva generacija robota

Razdoblje od 1950. do 1967. god. obuhvaća prvu generaciju industrijskih robota kao jednostavnih programibilnih uređaja bez mogućnosti kontroliranja izvršavanja zadataka te bez doticaja s okolinom u kojoj se nalaze. Roboti ove generacije nisu bili opremljeni naprednom

tehnologijom i uglavnom su izrađeni bez upravljačkih jedinica (Wallen, 2008). Karakterizirala ih je velika buka pri radu prilikom sudara robotske ruke i mehaničkog zaustavljača koji je limitirao kretanje oko osi. Zadatci koje su roboti prve generacije mogli obavljati su bili jednostavni i uglavnom su se svodili na radnju prihvatiti i otpustiti.

Izumom programabilnog prijenosnog članka od strane izumitelja Georgea Devola 1954. god. dolazi do prekretnice u razvoju robota. Zajedničkim radom i suradnjom s poduzetnikom Josephom Engelbergerom stvaraju prvu kompaniju za proizvodnju industrijskih robota Unimate. Nasuprot starijih robota, Unimate je imao hidrauličko pokretanje čime je postao puno precizniji od prijašnjih robota i brže je izvodio radnje (slika 1). Prvi robot je instaliran u automobilskoj industriji General Motors gdje je služio za vađenje djelova iz uređaja za lijevanje željeza. Naglim porastom potražnje robota stvorila se prilika za nastankom novih proizvođača industrijskih robota. Primjer takve kompanije je korporacija AMF koja je 1962. god. stavila na tržište svoj robot Versatron koji je bio cilindrični robot i prvi put je instaliran u Ford auto industriji (Birnie, 1974). Versatron je također bio prvi robot instaliran u proizvodnji u Japanu (slika 2). Narednih godina Japan je doživio nagli porast u primjeni robota većinom zbog toga što je Unimate dopustio korištenje svoje licence kompaniji Kawasaki Ltd. da proizvodi robote za azijsko tržište. Posljedično tome Japan postaje jedna od vodećih zemalja u proizvodnji industrijskih robota. Nastanak robotike u Europi počinje u isto vrijeme kao i u Japanu s postrojenjem Svenska Metallverken u Švedskoj (Wallen, 2008).



**Slika 1.** Kawasaki-Unimate robot (Anonymous 1)



**Slika 2.** Versatron robot (Anonymous 2)

### 2.2.2. Druga generacija robota

Industrijski roboti druge generacije (konvencionalno u rasponu od 1968. do 1977. god.) bili su jednostavni programibilni strojevi s ograničenim mogućnostima samoprilagodljivog ponašanja i elementarnim sposobnostima prepoznavanja vanjskog okruženja (Zamalloa, 2017). Ovi su roboti koristili upravljačke jedinice, što im je omogućilo izvođenje kretanja od točke do točke, kao i kontinuirane putanje. Njihov upravljački sustav sastojao se od mikroprocesora ili programabilnih logičkih kontrolera (PLC), a operater ih je mogao programirati pomoću vanjskog kućišta. Nasuprot robota prve generacije, ovi roboti su mogli izvršavati kompleksnije zadatke. Međutim, njihova razina svestranosti nije bila velika, jer je svaki robot imao svoj softver, koji je bio posvećen određenom zadatku. Stoga su se ti roboti pokazali kao uređaji specifični za određenu radnju, što znači da je bilo vrlo teško zaposliti istog robota za različite zadatke, jer bi to zahtijevalo značajnu izmjenu kontrolera i temeljito reprogramiranje operacijskog softvera. Roboti druge generacije nisu bili jako učinkoviti, budući da su jedini dijagnostički izvještaji koje su mogli prikazati bili oni koji su se odnosili na kvarove, a koji su prijavljeni pomoću svjetlosnih indikatora, bez ikakvih naznaka o uzroku kvara.

Na početku povijesti industrijske robotike roboti su imali hidraulične aktuatorne. Prelazak s hidrauličkih na električne aktuatorne dogodio se 1970-ih, kada su elektroničke komponente potrebne za upravljanje robotom dostigle punu tehničku zrelost. Zapravo,

mikroprocesori i druge komponente tada su se počeli široko koristiti. Sa znanstvenog stajališta, osnova za razvoj robota na električni pogon bila je zasluga Victora Scheinmana (Scheinman, 1973). Scheinman je bio student strojarstva na Sveučilištu Stanford koji je 1969. projektirao i izgradio poznatu robotsku ruku (Stanford Arm). Ovaj robot bio je prvi prototip robota koji se pokreće elektromotorima (6 istosmjernih motora) i kojima upravlja mikroprocesor PDP-6. Stanford Arm je imao 5 revolucionarnih i jedan prizmatični zglob, za ukupno 6 stupnjeva slobode, a njegov kinematički lanac bio je izrađen od harmonijskih pogona i reduktora zupčanika. Njegova inverzna kinematika mogla se analitički riješiti u zatvorenom obliku, što je omogućilo brzo izvršavanje putanje. Štoviše, neki su senzori (tahometri i potenciometri) montirani na robota, kako bi se mjerili položaj i brzina zglobova robota. Četiri godine kasnije (1973), Scheinman je dizajnirao još jednog električnog robota, nazvanog Vicarm, koji je bio manji i lakši od industrijskih robota tog vremena. To je Vicarm učinilo posebno pogodnim za uporabu u poslovima, poput sastavljanja dijelova, gdje robot nije morao dizati i nositi teške terete. Ove značajke Vicarma bile su toliko cijenjene da je Unimation kupio tvrtku koja je proizvodila Vicarm i iskoristio njegovo znanje za projektiranje i proizvodnju (1978) poznatog robota PUMA. PUMA (akronim za Programabilni univerzalni stroj za sastavljanje) dugo se desetljeća smatrao arhetipom antropomorfnih robota, a njegova se kinematika još uvijek uzima kao primjer u nekoliko robotskih knjiga na preddiplomskom i diplomskom studiju. Godine 1974. švedska tvrtka ASEA (danas ABB) započela je proizvodnju robota poznate i uspješne serije IRB, u svijetu poznate i po tipičnoj narančastoj boji (slika 3). Prvi robot ove serije, koji se proizvodio više od 20 godina, bio je IRB-6, koji je uvelike bio korišten na proizvodnim mjestima za složene zadatke (strojna obrada, elektrolučno zavarivanje), zbog svoje sposobnosti nesmetanog kretanja neprekidnim stazama.



**Slika 3.** ABB IRB robot (Anonymous 3)

### 2.2.3. Treća generacija robota

Treća generacija robota se proteže od 1978. do 1999. godine i robote ove generacije karakterizira veći stupanj interakcije s operaterom i okolinom putem neke vrste sučelja poput vida ili glasa. Uz to su imali i neke mogućnosti samoprogramiranja te su se mogli reprogramirati kako bi izvršavali različite zadatke (Zamalloa, 2017). Ti su roboti bili opremljeni upravljačkim sustavima i mogli su izvršavati složene zadatke kretanjem od točke do točke ili neprekidnim stazama. Mogli su se programirati on-line tako da je operater mogao koristiti vanjsko kućište s tipkovnicom ili offline, povezujući se s PLC-om ili računalom, što je omogućilo korištenje jezika na visokoj razini za programiranje pokreta i omogućilo je robotu da se poveže s CAD programima ili bazama podataka. Mogućnost off-line programiranja povećalo je operativni potencijal robota na način da su mogli obraditi podatke dobivene od senzora i na taj način prilagoditi kretanje ovisno o promjeni položaja. Štoviše, dijagnostičke mogućnosti su se značajno poboljšale. Roboti ne samo da su signalizirali kvar nego su davali informaciju o mjestu i vrsti kvara. Osim toga, neka vrsta "inteligencije" bila je prisutna u robotima treće generacije, s nekim, iako ograničenim, adaptivnim sposobnostima. Te su sposobnosti bile upotrijebljene u nekim složenijim zadacima poput taktalne inspekcije, montažne operacije i kod elektrolučnog zavarivanja. godine 1978. japanski znanstvenik Hiroshi Makino sa Sveučilišta Yamanashi predložio je novu kinematičku strukturu. Takva je

struktura napravljena od tri revolucionarna spoja s paralelnim osima i prizmatičnim zglobovima koji leži na kraju kinematičkog lanca. Robot s ovom strukturom nazvan je SCARA (akronim od "Selective Compliance Assembly Robot Arm"). Ovaj je robot bio prikladan za korištenje u zadacima poput sastavljanja malih predmeta (Makino i Furuya, 1980).

Ova znanstvena i tehnička otkrića pridonijela su širenju robota u primjenama koje se razlikuju od onih u klasičnom automobilskom sektoru, posebice u proizvodnji robe široke potrošnje, sa naglaskom na robu na elektroničkom tržištu. SCARA roboti su bili zaposleni u ovim vrstama montažnih linija, posebno u Japanu. Iz tog razloga, Japan je 1980-ih postao ne samo svjetski lider u proizvodnji robota (s više od 40 tvrtki koje su proizvodile i prodavale robote diljem svijeta), već i u proizvodnji elektroničke robe široke potrošnje. Sa znanstvenog i tehničkog stajališta, ovo je vrijeme kada su roboti postali još svestraniji, iskorištavanjem važnih poboljšanja i u pogledu hardvera i softvera. Što se tiče hardvera, roboti su počeli dobivati napredne senzore (kamere, senzore sile, laserske skenere), a što se tiče softvera, upravljački softver postao je "inteligentniji" uvođenjem nadolazećih tehnika povezanih s umjetnom inteligencijom. Oba ova aspekta povećala su svestranost i fleksibilnost robota, koji bi se mogli koristiti u sve složenijim zadacima. Unatoč značajnom napretku ostvarenom 1980-ih, potreba za robotima koji bi mogli izvršavati zadatak velikom brzinom potaknula je znanstvena istraživanja na projektiranje inovativnih kinematičkih struktura. Ideja o korištenju paralelnih kinematičkih lanaca umjesto klasičnih serijskih kinematičkih lanaca iznesena je i dovela je do vrste lakog robota sa sposobnošću kretanja velikom brzinom. Primjer ove vrste robota bio je robot Delta 1992. god. kojeg je konstruirao švicarski znanstvenik Reymond Clavel na Ecole Poly-tehnici Fédérale de Lausanne (EPFL). Ovaj tip robota, koji je Clavel dizajnirao u svom doktorskom radu, imao je tri translacijska stupnja slobode i jedan rotacijski stupanj slobode (Clavel, 1991). S obzirom na serijske robote, paralelni roboti imali su manji radni prostor, ali sposobnost rada pri mnogo većoj brzini. Kinematička arhitektura Delta robota kopirana je u mnogim paralelnim manipulatorima, posvećenim operacijama odabira i postavljanja velikom brzinom. Prvu primjenu Delta robota razvila je švicarska tvrtka Demarex 1992. godine gdje je šest Delta robota radilo unutar radne ćelije za punjenje perca u ladice (slika 4). Nekoliko godina kasnije ABB je razvio Flex-Picker, najbrži robot za hvatanje na svijetu, baziran na strukturi Delta robota.





**Slika 4.** Delta robot (Anonymous 4)

#### 2.2.4. Četvrta generacija robota

Počevši od 2000. godine pojavljuje se nova generacija robotskih tehnologija. Četvrta generacija robota sastoji se od inteligentnijih robota koji uključuju napredna računala za razmišljanje i učenje i sofisticirane senzore koji pomažu robotima da se učinkovitije prilagode različitim okolnostima. Svaki robot koji se tek treba ozbiljno pustiti u rad je robot četvrte generacije. Primjeri za to mogu biti roboti koji se samostalno razvijaju ili koji uključuju biološke i mehaničke komponente. Sve veća popularnost umjetne inteligencije, a posebno neuronskih mreža, postala je aktualna u ovom razdoblju. Dok se veliki dio važnih radova na neuronskim mrežama dogodio 80-ih i 90-ih godina prošlog stoljeća, računala u to vrijeme nisu imala dovoljno računalne snaga. Skupovi podataka nisu bili dovoljno veliki da bi bili korisni u praktičnim primjenama. Kao rezultat toga, neuronske mreže su praktički nestale u prvom desetljeću 21. stoljeća. Međutim, od 2009. godine neuronske mreže su postale popularne i počele davati dobre rezultate u područjima kao što su računalni vid (2012.) ili strojno prevođenje (2014.) te u prepoznavanju govora. Tijekom posljednjih nekoliko godina vidjeli smo kako su ove tehnike implementirane u robotiku za zadatke kao što je robotsko hvatanje, govorne interakcije i čak samostalno učenje robota. U nadolazećim godinama očekuje se da će ove tehnike umjetne inteligencije imati sve veći utjecaj u robotici. Najznačajniji primjer robota četvrte generacije je humanoidni robot Sophia proizveden u kompaniji Hanson Robotics 2016. godine. U listopadu 2017. god. Sophia je dobila državljanstvo Saudijske Arabije i postala prvi robot koji je dobio državljanstvo bilo koje zemlje. U studenom 2017. god. Sophia je proglašena prvom pobjednicom za inovacijske

Programa Ujedinjenih naroda za razvoj (engl. *United Nations Development Programme's first Innovation Champion*) i prva je neljudska osoba kojoj je dodijeljena titula Ujedinjenih naroda.



**Slika 5.** Sophia, humanoidni robot (Anonymous 5)

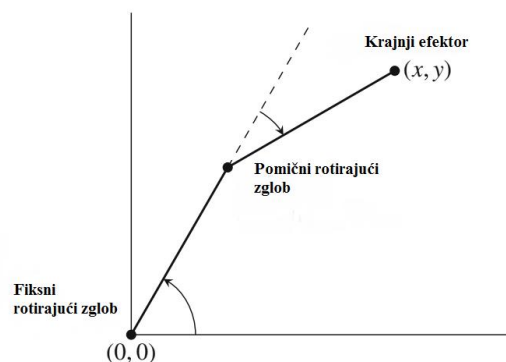
### **2.3. KONFIGURACIJA ROBOTA**

Dizajn robota omogućuje obavljanje poslova u trodimenzionalnom prostoru pri čemu je potrebno upravljati položajem i orijentacijom završnog mehanizma koji se nalazi na kraju lanca krutih članaka i pokretnih zglobova. U tu svrhu potrebno je odrediti položaj i orijentaciju prihvatnice (hvataljke, alata ili krajnjeg efektora) u odnosu na koordinatni sustav baze robota uz zadani vektor varijabli zglobova robota.

Geometriju odnosno veličinu radnog prostora predstavlja skup točaka u prostoru koje se mogu dohvatiti ručnim zglibom robota na koji je pričvršćen završni mehanizam. Veličina radnog prostora ovisit će o broju i tipu zglobova robota i duljinama članaka. Zglobovi mogu biti rotacijski (R) ili translacijski (T), a njihovim različitim kombinacijama određuju se konfiguracije robota: pravokutna (kartezijeva) (TTT), cilindrična (RTT), sferna (RRT), rotacijska (RRR), kvazicilindrična (RTR) imamo još i SCARA (RRRT) strukturu i delta paralelnu strukturu robota. Po načinu upravljanja kretanjem, roboti mogu obavljati zadaću kretanjem od točke do točke ili kontinuiranim gibanjem po putanji.

Fizika kretnje robota se može opisati pomoću četiri ključne varijable: udaljenost, brzina, ubrzanje i vrijeme. Da bi se mogla odrediti kretanja robota i njegov položaj u trodimenzionalnom sustavu koristimo se odometrijom. Odometrija je temeljni algoritam za računanje kretanja robota. S obzirom da je podložna pogreškama za unaprjeđenje se koriste

mjerni i digitalni uređaji poput enkodera kotača i internog sata te u novije vrijeme GPS uređaji povezani preko Internet stvari, IoT (engl. *Internet of Things*). Za lakši opis položaja robota u prostoru, koristi se broj stupnjeva slobode robota, DOF (engl. *Degrees of Freedom*) koji opisuje položaje do kojih robot ili robotska ruka mogu doći. Broj stupnjeva slobode je usko povezan s brojem aktuatora robota (motori koji pokreću određeni zglob). Proizlazeći iz toga postoje sustavi gdje je broj aktuatora manji od stupnjeva slobode, gdje je broj aktuatora jednak broju stupnjeva slobode i gdje je broj aktuatora veći od stupnjeva slobode. Robotska ruka s dvije karike na slici 6 ima dva stupnja slobode jer se njegov krajnji efektor kreće u ravnini i ne rotira te se može opisati dvodimenzionalnom koordinatom  $(x, y)$  (Ben-Ari i Mondada, 2018).



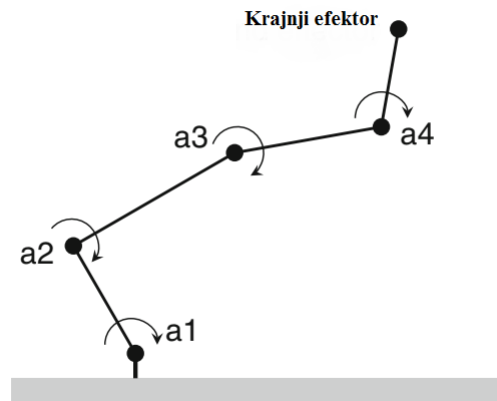
**Slika 6.** Robotska ruka s dva zgloba i dva stupnja slobode (prema Ben-Ari i Mondada, 2018)

Robotska ruka s dva zgloba na slici ima dva pogona i dva stupnja slobode. Robotska hvataljka može se izraditi s tri motora koji rotiraju hvataljku u svakoj od tri orijentacije (rotiranje, nagib, skretanje). Prednost jednakog broja pokretača i stupnjeva slobode je u tome što je sustav relativno jednostavan za upravljanje. Svakom aktuatoru pojedinačno je naređeno da pomakne robota u željeni položaj koji kontrolira.

Manji broj aktuatora od broja stupnjeva slobode čine sustav jeftinijim, ali su problemi planiranja i kontrole kretanja mnogo teži. U ovu skupinu spadaju mobilni roboti i roboti s diferencijalnim pogonom. Za lakše razumijevanje ove strukture kretanja može se navesti bočno parkiranje automobila pri čemu su potrebne dvije rotacije za izvođenje jednostavnog bočnog pomaka i helikopter koji je vrlo upravljiv, a pilot kontrolira let helikoptera koristeći samo tri aktuatora (Ben-Ari i Mondada, 2018).

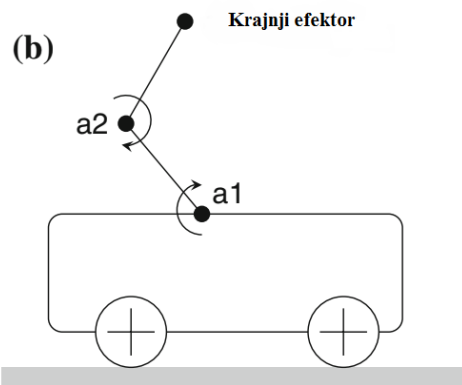
Konfiguracije koje imaju veći broj aktuatora od broja stupnjeva slobode u praksi su često korisne. Sustavi na slici 7 i 8 imaju više aktuatora od stupnjeva slobode. Ruka

robotskog manipulatora na slici 7 ima četiri karike koje se okreću u ravnini s aktuatorima (motorima)  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  na spojevima. Krajnji efektor pričvršćen je na kariku s  $a_4$  i ne može rotirati, pa je njegov položaj definiran njegovim položajem  $(x, y)$  i fiksnom orijentacijom. Stoga, iako ruka ima četiri pokretača, ona ima samo dva stupnja slobode jer može pomicati krajnji efektor samo vodoravno i okomito (Ben-Ari i Mondada, 2018).



**Slika 7.** Robotska ruka s dva stupnja slobode i četiri aktuatora (prema Ben-Ari i Mondada, 2018)

Mobilni robot s rukom (slika 8) ima tri aktuatora. Motor koji pomiče robota naprijed i natrag, te motore za svaki od dva rotirajuća zgloba. Međutim, sustav ima samo dva stupnja slobode budući da je položaj njegovog krajnjeg efektora definiran dvodimenzionalnom  $(x, y)$



**Slika 8.** Mobilni robot s dva stupnja slobode i tri aktuatora (prema Ben-Ari i Mondada, 2018)

koordinatom. Sustavi s više pokretača od stupnjeva slobode nazivaju se redundantni sustavi.

Ako je moguće, inženjeri izbjegavaju korištenje više od jednog aktuatora koji djeluje na isti stupanj slobode jer to povećava složenost i cijenu sustava.

### 2.3.1. Senzori i robotski vid

Prije uvođenja robota u proizvodnju, postavlja se pitanje vizualne kontrole kvalitete i korektivne procedure ako je potrebno. Radnik na liniji koji rukuje proizvodom cijelo vrijeme vizualno kontrolira proizvod te se takav rad želi imitirati i na robotima. Osim vizualne kontrole, u potpuno automatiziranim linijama robotima je potrebna i mogućnost kontroliranja kvalitete sirovine koja tek ulazi u proces. Tehnologija senzora i robotskog vida daju rješenje za navedene probleme. Senzori se koriste u vođenju procesa već dulje vrijeme i nisu jedinstveni za linije s robotima. Osnovni parametri koje senzori prate i reguliraju su temperatura, tlak, protok, gustoća i razina tekućine. Robotski vid specifičan je i kompleksan pojam vezan uz robotiku koji funkcionira uporabom senzora, a bazira se na obradi slika i statističkom prepoznavanju uzoraka. Moderna implementacija ove tehnologije omogućava praćenje vanjske i unutarnje kvalitete proizvoda brzim oslikavanjem njegove cjelokupne strukture i analizom traženih parametara. Način na koji roboti dobivaju slike prije analiza veoma je bitan jer količina dobivenih informacija ovisi o tome, a koristiti se mogu X-zrake, ultraljubičasto i infracrveno zračenje te slike u boji. Kako bi robot dobio točnu i kvalitetnu sliku proizvoda za analizu, neophodno je u program uvesti riješene osnovne prepreke kod obrade slika, analize oblika i morfologije objekta, lokacije objekta i analize teksture. Svako navedeno područje zaseban je problem koji mora biti u potpunosti riješen prije nego što robot može pouzdano statistički prepoznavati uzorke te ovisno o tome odlučiti je li proizvod ispravan. Ova tehnologija može biti veoma kompleksna za uvođenje u proizvodnju, ali pravilna implementacija daje brojne prednosti poput poboljšane kvalitete i higijenskih standarda uz povećanje produktivnosti. Samo neke od mogućih primjena su inspekcija kremastog biskvita i čokoladnih kolačića te pronalaženje insekta ili kontaminanata koji nisu insekti u žitaricama.

### 2.3.2. Tehnologija hvataljki

Hvataljke su dio robota koji se odnosi na završni dio robotskog alata koji hvata proizvod, a čija izvedba može biti raznovrsna. Iako su hvataljke neophodan dio robota, većina istraživanja usredotočila su se na robotsku kinematiku, dinamiku, kontrolu i senzorske sustave što je uvelike odgodilo širenje primjene robota u prehrambenoj industriji. U velikoj većini industrija roboti rukuju s tvrdim materijalom koji nije posebno osjetljiv pa nije bilo potrebe usredotočiti se na hvataljke. Nove metode i tehnologije hvataljki postaju razumljive i razvijaju se za industrijske standarde, te se pojavljuju nove mogućnosti za primjenu robota u prehrambenoj industriji. Razvijaju se sofisticiranije metode za hvatanje predmeta mekanog, opuštenog ili nestrukturiranog karaktera. Osnovne karakteristike prehrambenih materijala na koje treba obratiti pozornost pri dizajnu hvataljki su: mekoća hrane, neravna površina, različiti oblici te higijenski standardi. Gotovo sva hrana je mekana osim neke biljnog porijekla. Zbog toga treba odabrati hvataljke koje eliminiraju mogućnost oštećenja hrane u hvatu ili ispadanja hrane iz hvata zbog promjene oblika. Potrebna je mogućnost veoma preciznog upravljanja silom hvataljki kako se ne bi narušila kvaliteta hrane što je posebice bitno kod osjetljivog voća. Sva prirodno uzgojena hrana je neravna pri čemu postoje znatne razlike između određenih vrsta. Najlakše je rukovati s hranom koja je tvrda i grube površine, a meka hrana s grubom površinom najveći je problem kod odabira odgovarajućih hvataljki. Prirodno uzgojena hrana ima neujednačeni oblik te varijabilnost oblika predstavlja najveći izazov kod dizajna i odabira hvataljki (Bebek i Čurlin, 2018).

Osnovna funkcija hvataljki prenošenje je potrebne sile iz robotske ruke do objekta kako bi se objekt premjestio. S obzirom na prijenos sile kroz hvataljke postoje sljedeći načini izvedbe:

- Štipanje: Hvataljke koje imaju dva ili više prsta koji djeluju silom na objekt i oslanjaju se na silu trenja za održavanje sigurnog hvata. Tipično su jakog stiska koji nije adekvatan za hranu.
- Obuhvaćanje: Hvataljka ima prste s velikom površinom koji objekt mogu djelomično ili potpuno obuhvatiti bez mogućnosti ispadanja iz hvata.
- Probadanje: Jedna ili više oštih igli probadaju objekt i drže ga na mjestu. Koristi se samo za hranu koja nije znatno oštećena probadanjem, npr. meso.
- Podtlak: Zovu se još i vakuum hvataljke no ne funkcioniraju u potpunom vakuumu nego na određenom podtlaku koji se stvara na hvataljki i drži objekt.

- Površinski efekti: Hvat se može dobiti hlađenjem kontaktne površine ispod temperature smrzavanja vode. Kad ta površina dođe u kontakt s mokrim objektom, stvara se tanki film leda koji služi za držanje objekta u hvataljki.
- Bernoullijeva hvataljka: nasuprot ostalih hvataljki Bernoullijeva hvataljka ima prednost rukovanja sa različitim oblicima hrane. Beskontaktna hvataljka se temelji na Bernoullijevom principu i razvijena je prema fenomenu radijalnog istjecanja te djeluje na principu generiranja protoka fluida velike brzine između mlaznica i površine proizvoda stvarajući tako vacuum. Strujanje zraka preko površine objekta uzrokuje njegovo podizanje i levitiranje. Nakon što je predmet podignut Bernoullijevim efektom, strujanje zraka se isključi i predmet je prihvaćen prstima hvataljke.

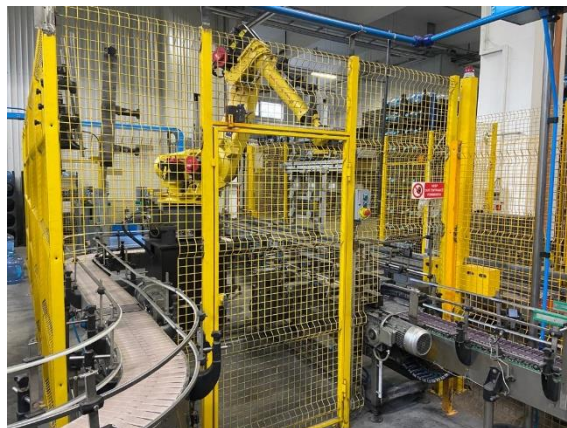
## 2.4. PODJELA ROBOTA

Roboti se mogu klasificirati prema okruženju u kojem djeluju pa se mogu podijeliti na fiksne i mobilne robote. Fiksni roboti su uglavnom industrijski robotski manipulatori koji rade u dobro definiranim okruženjima prilagođenim za robote. Mobilni roboti se kreću i obavljaju zadatke u velikim, nedefiniranim i nesigurnim okruženjima koja nisu dizajnirana za robote i moraju se nositi sa situacijama koje nisu poznate unaprijed te se mijenjaju tijekom vremena. Ne postoji jasna granica između zadataka koje obavljaju fiksni roboti i mobilni roboti, ali je prikladno razmotriti dvije klase kao različite. Fiksni roboti su pričvršćeni na stabilan nosač na terenu, tako da mogu izračunati svoju poziciju na temelju svog unutarnjeg stanja, dok se mobilni roboti moraju osloniti na svoju percepciju okoline kako bi procijenili svoj položaj. Postoje tri glavna okruženja za mobilne robote koja se značajno razlikuju po mehanizmu gibanja: vodeni (podvodno istraživanje), zemljani (automobili) i zračno (dronovi).

Roboti se također mogu klasificirati prema predviđenom području primjene i zadacima koje obavljaju. Prvi od tih robota su industrijski roboti koji rade na definiranim pozicijama i rade točno određene radnje. Uslužni roboti, s druge strane, pomažu ljudima u obavljanju različitih zadataka. To uključuje kućanske poslove kao što su usisavanje i čišćenje, prijevoz poput samovozećih automobila i nadzorne robote poput izviđačkih dronova. Primjena robota se našla i u medicini gdje se sve više koriste u kirurgiji, rehabilitaciji i obuci. Sve te aplikacije robota zahtijevaju napredne senzore i mogućnost interakcije s ljudima i okolinom.

### 2.4.1. Industrijski fiksni roboti

Fiksni roboti su uglavnom industrijski robotski manipulatori, tj. robotske ruke, koji rade u dobro definiranim okruženjima prilagođenim za robote. Prvi roboti bili su industrijski roboti koji su zamijenili ljudske radnike koji rade jednostavne ponovljive zadatke. Montažne linije u tvornicama mogu raditi bez prisutnosti ljudi jer su dobro definirani parametri okruženja u kojem se robot nalazi te obavlja zadatke po određenom redu, djelujući na objekte točno postavljene ispred njega. Industrijski roboti rade specifične zadatke koji se ponavljaju. Uz poboljšanje senzora i uređaja za interakciju s čovjekom, robotski manipulatori se sve više koriste u manje kontroliranim okruženjima. Zbog svoje robusnosti, industrijski roboti su se prije držali u posebno pregrađenim dijelovima tvornica gdje nisu mogli doći u direktan doticaj s čovjekom (slika 9) dok su danas sposobni raditi uz čovjeka bez moguće opasnosti (slika 10)



**Slika 9.** Posebno ograđeni industrijski robot (osobna fotografija M. Čurlin)





**Slika 10.** Industrijski robot za ponavljajuće aktivnosti „uzmi- stavi“ (osebna fotografija M. Čurlin)

#### 2.4.2. Mobilni roboti

Mnogi mobilni roboti su daljinski upravljani i obavljaju zadatke kao što su pregled terena, zračne fotografije i zbrinjavanja opasnog otpada te se oslanjaju na operatera koji ih kontrolira. Ovi roboti nisu autonomni jer koriste svoje senzore da daju operateru daljinski pristup opasnim, udaljenim ili nepristupačnim mjestima. Neki od njih mogu biti poluautonomni gdje automatski izvršavaju podzadatke poput autopilot drona koji stabilizira let dok čovjek bira putanju leta. Potpuno autonomni mobilni roboti se ne oslanjaju na operatera, već umjesto toga sami donose odluke i obavljaju zadatke, kao što je prijevoz materijala gdje istovremeno navigiraju neizvjesnim terenom poput zidova i vrata u tvornicama i u okruženju koje se stalno mijenja poput prolaska ljudi i drugih robota. Mnogi autonomni mobilni roboti dizajnirani su za primjenu u različitim profesijama gdje rade u strukturiranim okruženjima kao što su skladišta ili polja. Primjer takvog robota je autonomni mobilni robot za odvajanje korova na poljima koji radi u djelomično strukturiranom okruženju te je za obavljanje zadataka identificiranja i uklanjanja korova potreban napredni senzor (slika 11).



**Slika 11.** Autonomni robot za uklanjanje korova (Anonymous 6)

### 2.4.3. Egzosekleti

Egzoskelet ili vanjski kostur je najnoviji primjer robota koji svoje zadatke obavlja direktno uz čovjeka. Industrijski egzoskelet (slika 12) je mehanički uređaj koji je nošen od strane operatera i čija konstrukcija oponaša operaterove udove, mišiće i zglobove i tako unapređuje sposobnosti operatera za rad s teškim predmetima. Iz istraživanja provedenih u raznim tvornicama, najčešće ozljede su one povezane sa zglobovima. Egzskelet u tome znatno pomaže da ne dođe do zamora kod operatera i smanjuje ozljede na radu. Korisno je misliti o industrijskim egzoskeletima kao nosivim robotima koji iskorištavaju inteligenciju ljudskih operatera, te snagu i izdržljivost industrijskih robota. Poput tradicionalnih robota, oni se bave zadacima koji se ponavljaju i koji se ne mogu automatizirati tradicionalnim metodama, a koji su fizički zahtjevni.



**Slika 12.** Egzoskelet (osebna fotografija M. Čurlin)

### **3. VAŽNOST UPORABE AUTOMATIZACIJSKIH I ROBOTSKIH SUSTAVA**

Prednosti koje pruža uvođenje robota u proizvodno tehnološki proces su brojne i jasno pokazuju zašto se razvoj suvremenog poduzeća u današnje vrijeme ne može zamisliti bez uvođenja robotike. Većem broju robota pridonijeli su i trendovi uvjetovani tržištem rada ili zahtjevima potrošača: manja je dostupnost jeftine radne snage, sve su veći zahtjevi za higijenskim procedurama i kvalitetom proizvoda, a cijena mora ostati prihvatljiva potrošaču. Uvođenjem robota u proizvodnju može se udovoljiti tržišnim zahtjevima i postići potpunu modernizaciju u lancu hrane koja podrazumijeva najviši standard kvalitete i slijedivosti hrane kao ekološki pristup u smislu minimiziranja otpada i potrošnje energije u proizvodnom procesu po principima kružne ekonomije.

Humanizacija rada (manje radne snage i rad u nepovoljnim uvjetima) može se istaknuti kao jedna od prednosti uporabe robota u industriji. Korištenje robota za rad u sredinama s ekstremnim uvjetima za čovjeka (visoke temperature, onečišćena i zagađena atmosfera) te za monotone i zamarajuće poslove. Nadalje, bolja pouzdanost i fleksibilnost u proizvodnji te bolja kvaliteta i efikasnost također su prednosti uvođenja robota u proizvodni proces. Monotoni i slabo plaćeni poslovi zamjenjuju se veoma efikasnim robotima, a to tvrtki daje veću produktivnost uz manje troškove što omogućava otvaranje novih i boljih radnih mjesta. Roboti se ne umaraju i rade bez prestanka, a sav posao mogu obavljati u uvjetima koji bi bili nemogući za čovjeka. Osim toga brži su od čovjeka i svaki proizvod je iste kvalitete što značajno doprinosi efikasnosti. Umor ili smanjena koncentracija kod radnika mogu znatno utjecati na greške u konačnom proizvodu, a kod robota ovaj vid pogrešaka u potpunosti je uklonjen. Brojne mogućnosti reprogramiranja robota omogućavaju jednostavno uvođenje novih i inovativnih proizvoda i pakiranja (McCarthy i sur., 2018, Bebek i Čurlin, 2018).

Uz navedene prednosti, robotika u prehrambenoj industriji ima prepreke s kojima se mora suočiti. Prvi od tih problema je to što materijali s kojima rukuje robot su različitih dimenzija, težine, položaja i oblika te je potreban inteligentni senzor za rukovanje s tim materijalima. Drugi problem je što većina tih materijala su nježni i sklone deformaciji ili imaju sklizavu ili viskoznu površinu što otežava njihovu manipulaciju. Primjenom prevelikog pritiska dolazi do fizikalnih i organoleptičnih promjena na materijalu što je krajnjem kupcu ne

prihvatljivo. Treći problem je visoka higijena koja je potrebna da ne bi došlo do kontaminacije lako pokvarljivih proizvoda i širenja bolesti.

### **3.1. PRIMJENA AUTOMATIZACIJSKIH I ROBOTSKIH SUSTAVA U PREHRAMBENOM I AGRO SEKTORU**

Primjena industrijskih robota u prehrambenoj industriji i agro sektoru započinje krajem dvadestog stoljeća. Industrijski roboti u prehrambenoj industriji mogu se koristiti pri rukovanju sirovinama, sastavljanjem proizvoda i završnim operacijama. Rukovanje sirovinama podrazumijeva prijenos sirovina ili dijelova sirovina s jednog mjesta na drugo ili s jednog proizvodnog ciklusa na drugi. Sastavljanje proizvoda podrazumijeva spajanje dvije ili više komponenta u jedan gotovi proizvod ili poluproizvod. To u većini slučajeva podrazumijeva radnju “uzmi” i “stavi” (engl. *pick and place*). U završne operacije spadaju radnje pakiranja u ambalaže ili paletiziranje. Primjena robota u prehrambenoj industriji je u početku bila ograničena samo na završne radnje poput pakiranja i paletiziranja čokolade, pića, mliječnih proizvoda i limenki. Izlaskom na tržište “Flex Picker Robota” 1998. god. došlo je do revolucije u prehrambenoj industriji jer je to bio najbrži “pick and place” robot (slika 13). Svi roboti primjenjeni u prehrambenoj industriji bi trebali biti od nehrđajućeg čelika i svi dijelovi bi trebali biti vidljivi i pristupačni za čišćenje radi strogih higijenskih uvjeta koje zahtjeva industrija. Standard higijene također određuje grana industrije u kojoj se primjenjuje robot. Biti će veći ako se primjenjuje u mesnoj ili ribarskoj industriji gdje obituje u vlažnoj sredini nego u pekarskoj industriji gdje manipulira sa suhim proizvodima poput kruha i/ili keksa.



**Slika 13.** Flex picker robot (Anonymous 7)

Unatoč sve većoj primjeni industrijskih robota, u prehrambenoj industriji još su nedovoljno primjenjeni zbog ključnih čimbenika koji se odnose na stroge higijenske zahtjeve, kompleksan sastav sirovina i organoleptičnih svojstva, manjak kvalificirane radne snage te druge ekonomske i socijalne prepreke (Bader i Rahimifard, 2018; Iqbal i sur., 2017). Primjer automatiziranih sustava su automatizirana mužnja krava i nadzorne kamere i senzori za kontrolu vlažnosti tla na farmama (Fentanes i sur., 2020).

## **3.2. PRIMJERI PRIMJENE INDUSTRIJSKIH I MOBILNIH ROBOTA UNUTAR PREHRAMBENE INDUSTRIJE I AGRO SEKTORA U SVIJETU**

### **3.2.1. Industrija mlijeka i sira**

Većina operacija unutar mljekarske industrije koju obavljaju ljudi zahtjeva brze i repetitivne radnje koji su u većini slučajeva monotoni za radnike i smanjuje im motivaciju. To dovodi do otežanog upravljanja ljudskim resursima i do nezgoda na random mjestu. Primjenom automatiziranih i robotskih sustava radnje bi se izvodili puno brže i uz veću preciznost nego kod ljudi. Primjena industrijskih robota se nalazi u proizvodnji sira. Roboti se koriste za rezanje i pakiranje sira i za rezanje skute. U proizvodnji sira roboti mješaju skutu, naciepljuju plemenitu plijesanj, režu i oblikuju sir te ga pakiraju i paletiziraju. Kolutovi sira dolaze na konvojeru gdje ih robotska ruka s posebnim hvataljkama prenosi na procesnu liniju za daljnje obrađivanje (Kempthorne, 1995). Robot može obraditi 12000 porcija po satu.

Robotski i automacijski sustavi se redovito koriste za muženje krava u mljekarama te se predviđa da će taj sistem zamjeniti polovinu industrije u EU do 2025. godine (Beekman i Bodde, 2015). Globalno tržište robota za mužnju očekuje rast od 10.3 % godišnje te se pretpostavlja da će doseći kapital od 3,127 milijardi USD (američki dolar) do 2026. godine (Magnifier Research, 2020). Robotske mljekare rade na principu da omogućavaju kravama da same odrede termin mužnje bez ljudske prisutnosti (slika 14). Krave su opremljene elektronskim žigom koji identificira kravu kada uđu u robot te dobiva od robota hranu kao nagradu prilagođenu količini mlijeka koju može producirati. Robot nakon toga sterilizira vime krave te započinje mužnja. Nakon završne mužnje, robot automatski otpušta opremu i krava slobodno izlazi iz robota (Butler i sur., 2012). Prva svjetska robotska mljekara bila je predstavljena od strane Švedske kompanije za proizvodnju mljekara DeLaval na farmi

Quamby Brook, Tasmania, u Australiji. Predstavljajući pet robota, mljekara je imala kapacitete mužnje 90 krava po satu (Legg, 1993). Korištenjem robota u mljekarstvu ima mnogo prednosti poput povećanja učestalosti mužnje čak do tri puta više. To rezultira smanjenjem stresa na vime krava i stvara im veću udobnost jer skladište manje mlijeka u sebi. Također olakšava upravljanje mljekarom i kontrolu krda na način da javlja operateru o prisutnosti krvi u mlijeku, konduktivnosti mlijeka i prinos. Uz navedeno pospiješuje se i zdravlje krava i smanjuje se pojava mastitisa kao i pojava infekcija (Nayik i sur., 2015). Tradicionalni način inspekcije mlijeka i životinja može dovesti do kontaminacije i ugroziti ljudsku sigurnost prenošenjem bolesti gdje automacijski sustavi imaju prednost nad ljudima (von Borstel Luna i sur., 2017).



**Slika 14.** Automatizirana mužnja (Anonymous 8)

### 3.2.2. Industrija mesa

Potencijalna primjena robotike u mesnoj industriji se razvija već dugi niz godina. Cilj uvođenja robotike je smanjenje operativnih troškova kao i smanjenje ozljeda na radu i unaprijeđenje higijene i proizvodnih kapaciteta. Primjena robotike nalaze se u procesima otkošavanja mesa gdje snaga i preciznost robota, u takvim repetitivnim radnjama, nadmašuje ljude (Food Science Australia). Istraživači s instituta Georga Tech su razvili sustav koji koristi naprednu tehnologiju snimanja i preciznu robotsku ruku za automatsko otkošavanje piletine i ostale peradi. Naprednim obrađivanjem mesa peradi robotska ruka precizno od ramenog zgloba pa uz kost odvaja meso te se njihovom primjenom povećava maseni prinos prsnog



mesa, a smanjuju se gubitci (Calderone, 2013). U proizvodnji junetine robotska ruka se u početku koristila za rezanje trupa u polovice. Institut mesne industrije s Novog Zelanda (MIRINZ) je razvio automatizirane klaonice za ovce i janjce. Danska kompanija SFK-Danfotech u suradnji s Danskim institutom za meso (MDRI) su razvili seriju robota za automatizirane linije u klaonicama svinja (Madsen i Nielsen, 2002). Nakon otkoštavanja mesa i filetiranja pomoću robotske ruke, meso se pakira i pomoću robota opremljenog s vizualnim sensorima se pregledava je li im težina ujednačena što ubrzava proces.

Unutar mesne industrije, proizvodnja govedine i junetine je najmanje automatiziran sektor. Robotska oprema primjenjuje se pri rezanju trupa na polovice i 1993. godine taj sustav je patentiran (Brien i Malloy, 1993). Ohlađeni trup se montira na beskonačnu traku gdje se snima uz pomoć rendgenskih zraka, 3D kamere i ultrazvučnog senzora. Rezultati snimanja se koriste za generiranje putanja rezanja da se dobiju optimalni komadi i rezovi. Rezanje se vrši visokotlačnim mlaznicama vode, abrazivima i zrakom. Meso se reže mlaznicom vode dok mlaznica zraka drži odrezano meso podalje od rezanja. Tijekom posljednjih nekoliko godina razvijeni su posebni robotski sustavi tzv. 'Clean Room Robot', 'Envirobot' i 'Shiny Robot' dizajnirani za rad u okruženjima s posebnim zahtjevima kao što su klaonice. Envirobot je izrađen od nehrđajućeg čelika i otporan je na sredstva za čišćenje i korozivne medije te hladni okoliš u klaonicama (Stone i Brett, 1994.). U industriji mesa posebnu pozornost treba posvetiti materijalu hvataljki koji dolaze u dodir s proizvodom i dizajnu. Materijali bi trebali biti netoksični i higijenski prihvatljivi, a to su uglavnom nehrđajući čelici te skupina plastičnih materijala. Najčešći izvor onečišćenja su ostaci mesa na hvataljkama koji, ako se ne uklanjaju redovito, dovest će do rasta bakterija i gljivica. Sokovi od mesa i male čestice mogu se lako sakupiti u rupama, utorima i unutrašnjosti hvataljke. Sa stajališta radnog okruženja i higijenskog aspekta, primjena robota za proces evisceracije svakako je značajna. Primjenom robotske tehnologije može se obraditi 360 trupova na sat uključujući i potrebno naknadno čišćenje i dezinfekciju. Organi i crijevni trakt uklanjaju se zajedno pomoću robota, što omogućava ručno odvajanje djelova izvan trupa, čime se poboljšava higijena u usporedbi s postojećom ručnom metodom. Također je važno istaknuti da upotreba robota eliminira teški rad potreban za podizanje i izvlačenje crijevnog trakta.

### 3.2.3. Industrija voća i povrća



Ubiranje plodova je jedna od osnovnih poljodjесkih aktivnosti, a i jedan od najvažnijih postupaka u lancu pripreme hrane, a do danas većina voća i povrća se ubire ručno (Suprem i sur., 2013). Posljednjih nekoliko godina za ubiranje voća na farmama koriste se robotski sustavi koji su opremljeni jedinicama za analizu slike i posebno dizajniranim hvataljkama (slika 15). Robot skenira stabla te analizira i raspoznaje plod te pomoću mehanizma uzmi-stavi prebacuje plod u privremenu ambalažu. Ovakav robot je sposoban radnju ubiranja izvesti unutar 7 sekundi.



**Slika 15.** Robotsko ubiranje rajčica (Anonymous 9)

Postrojenja za sortiranje i gradiranje voća i povrća se sofisticiraju i sve više se koriste strojni vid, blisko-infracrvena (NIR) tehnologija, mehanotronika i računalna tehnologija. Roboti su pokazali da mogu rukovati s poljoprivrednim proizvodima delikatno i s većom preciznosti, te da roboti i automatizirani sustavi mogu biti korisni za prikupljanje i pohranjivanje informacija o poljoprivrednim proizvodima. Povezivanjem informacija o operacijama poslije berbe s operacijama na terenu, dobiveni rezultati mogu pružiti uzgojne smjernice proizvođačima i mogu doprinjeti razvoju preciznih poljoprivrednih sustava. Također se ide u razvoj autonomnih robota za fenotipsku analizu kako bi se prinos proizvoda povećao.

Zadnjih godina primjenjuju se autonomni dronovi za ubiranje voća. Dronovi su opremljeni sensorima pomoću kojih raspoznaju plod i hvataljkama pomoću kojih hvataju plod i prenose do ambalaže. Autonomnim dronovima upravlja vanjsko kućište koje može u istom trenutku upravljati s više dronova. Također primjena dronova se našla u skeniranju farmi te u analizi tla i za raspršivanje pesticide i gnojiva iz zraka (slika 16). Prilikom ubiranja voća i

povrća u plastenicima razvijene su posebne aplikacije koje mogu koordinirati robotkse sustave unutar zatovanih i malih prostora (Bloch i sur., 2018).



**Slika 16.** Raspršivanje pesticida uz pomoć dronova. (Anonymous 10)

Roboti za berbu patlidžana sastoje se od dva senzora (CCD kamera i ultrazvučni senzor udaljenosti), manipulatora sa sedam stupnjeva sloboda, krajnjih efektora i putujućeg kućišta. Senzori su pričvršćeni na krajnji efektor. Robotski krajnji efektor prolazi između redova posađenih patlidžana i skenira patlidžane s obje strane. Kada senzor otkrije patlidžan, krajnji efektor prilazi plodu i zaustavlja se na 160 do 250 mm ispred njega. U ovom trenutku se procjenjuje duljina ploda uz pomoć vizualnog senzora i ultrazvučnog senzora. Ako je plod tržišne veličine (>120 mm duljine), škare na krajnjem efektoru drže i režu peteljku. Na kraju robot prenosi voće u prihvatnu ambalažu. Pokusi su provedeni u stakleniku gdje su biljke posađene na udaljenosti od 400 mm u redu od 4 m. Broj ukupnih plodova tržišne veličine bio je prebrojan unaprijed, te nakon žetve. Uspješna berbe se računala prema broju adekvatnih plodova, vremenu berbe po plodu i ukupnom vremenu berbe. Iz dobivenih rezultata je zaključeno da robot može adekvatno procijeniti je li plod spreman za ubiranje ili ne te ga uspješno ubire bez oštećenja.

Robotskim skeniranjem je moguće ocijeniti kvalitetu voća poput breskvi, jabuka i krušaka. Robot uzima voće iz spremnika i pregledava sve strane voća radi mogućih oštećenja (Kondo, 2003). Sustav se sastoji od dva robota, jedan koji ubire voće i drugi koji prima voće i skenira plodove i otpušta ih. Oba robota imaju tri stupnja slobode. Robot koji ubire voće ima šest usisnih jastučića umjesto hvataljki. Usisni jastučići ubiru plodove i prenose ih u međufazu do robota za ocjenjivanje. U sustavu postoje dva robota koji ubiru plodove i prenose 10 – 12 plodova. Robot ocjenjivač, koji također sadrži tri stupnja slobode i sastoji se od dva prizmatična zgloba i rotacijskog spoja, ima 12 usisnih jastučića kojima ubire plodove i

prenosi ih preko 12 kamera koje snimaju plodove s donje strane. Zglob robota zatim rotira plodove za 270° gdje se skinira ostatak ploda. Nakon što je slika obrađena u računalu robot ispušta plodove na odlazni konvejer. Instalacija jednog seta ovih robota omogućuje obradu otprilike 10 000 plodova na sat. Ovaj robot može se koristiti za sortiranje i gradiranje različitih vrsta okruglog voća.

Na svakoj liniji instaliran je NIR (near infra red) inspektor koji mjeri udio šećera i unutarnju kvalitetu ploda nakon što se uhvati slika ploda sustavom strojnom vida. Na temelju rezultata kontrole, voće se sortira u nekoliko razreda kvalitete, te po veličini ploda. Nakon kontrole unutarnje i vanjske kvalitete, robot s 12 DOF kartezijskih koordinatnih manipulatora pakira voće u kartonske kutije koje se zatvaraju i na čijoj površini inkjet pisac ispisuje razred i veličinu. Prije skladištenja kutije se paletiraju pomoću zglobnog robota.

Uporaba automacijskih i robotskih sustava sve se više primjenjuje u navedenim radnjama te se očekuje rast od 20 % instaliranih kapaciteta u narednim godinama (Suprem i sur., 2013).

#### 3.2.4. Ribarstvo i akvakultura

Povećanom potražnjom zdrave i nutritivne hrane, riba i morski plodovi hrana su čija je konzumacija u stalnom porastu zadnjih nekoliko desetljeća. Želja za plodovima mora koji se lako pripremaju te su kvalitetni i prihvatljive cijene potakla je istraživanja i primjenu automatizacije i robotike. Izazovi u ovom sektoru prehrambene industrije slični su kao i u ostalim sektorima prehrambene industrije i uglavnom se odnose na visoke higijenske zahtjeve i specifičnosti materijala. U području ribarstva i akvakulture kod primjene robota potrebno je zbog izrazite varijabilnosti oblika, mekoće te skliskosti vanjske površine dizajnirati posebne hvataljke koje će omogućiti rukovanje. Razvojem senzora počinje se koristiti robotski vid kod sortiranja ribe ovisno o vrsti, analiziranja svježine, određivanja količine masti i ostalih parametara u pojedinim fazama procesa. Automatizirane linije koriste se pri anesteziranju ribe, pri uklanjanje glave, filetiranju i porcioniranju. U ovom segmentu također se pokazala potreba za upotrebom 'Clean Room Robot', a za potrebe pakiranja i skladištenja koriste se klasični uzmi-stavi roboti.

### 3.2.5. Konditorska industrija

Konditori su dio tržišta koje je sezonsko i veoma kompetitivno s potrošačima koji svake godine zahtijevaju inovativne proizvode i pakovanja. Bitna karakteristika ove industrije je velik broj raznih pakovanja, brzina kojom se mijenjaju i relativno mali kapaciteti proizvodnje. Često mijenjanje proizvoda i vrsta pakovanja mnogim je proizvođačima problematično ponajviše zbog nemogućnosti prilagođavanja većine uređaja za pakiranje. Kako bi se riješio taj problem, intenzivno se radi na robotima koji se lako mogu rekonfigurirati i omogućavaju korištenje raznih vrsta pakovanja na jednom uređaju.

### **3.3. ROBOTIKA U PAKIRANJU I PALETIZIRANJU HRANE**

Rast proizvodnje, sve strožiji higijenski propisi, potreba za smanjenjem rizika na poslu te smanjenje troškova i bolja kontrola kvalitete proizvoda sve više pozivaju na razvoj tehnologije koja bi se mogla koristiti za ove zadatke. Zapravo, robotika ima sjajnu priliku u ovoj industriji, a posebno za Pick & Place operacije (Wilson, 2010). Primjeri robota za takve namjene uključuju ABB IRB-660 i IRB-360. ABB IRB-660 je a-serijski robot koji se koristi za visoko zahtjevan prijenos tereta dok IRB-360 se temelji na PKM (paralelno kinematički manipulator) mehanizmu (Wilson, 2010) i dizajniran je za sastavljanje, ubiranje i stavljanje velikog kapaciteta proizvoda na palete, kartone ili ubacivanje stvari u drugi stroj. Mnoge prehrambene tvrtke su uspješno primijenile robote za raznovrsne procese u mliječnoj, mesnoj, pekarskoj i konditorskoj industriji i to za pakiranje smrznutih proizvoda, grickalica, pa čak i u industriji pića za pranje, punjenje i paletiziranje boca (Purnell, 1998). Osim rukovanja nezapakiranih proizvoda, robotsko pakiranje se dokazalo korisnim u stavljanju proizvoda u kartone koje se kreću beskonačnom trakom. Robot stavlja proizvode po redu u kutiju i na kraju zatvara i lijepi kutiju. Također roboti služe za vađenje proizvoda iz kutija i stavljanje istih na pokretnu traku, kao i za sortiranje boca i prenošenje boca na stroj za punjenje te potom prihvaćanje dolazne pune boce gdje ih čepe i lijepe logo. Primjena se našla i u pakiranju proizvoda u ladice za višekratnu ili jednokratnu upotrebu, za istovar raznih vrsta pečenih proizvoda iz tava, istovar, pakiranje i sortiranje u pakete za jednu porciju, paletiranje i depaletiranje pića, kutija, torba, kanti, kontejnera za rasuti teret, limenki, itd. Komercijalna primjena robota u prehrambenoj industriji je široko rasprostranjena na kraju proizvodnih linija

poput pakiranja i paletiziranja. Međutim, postoji širok raspon potencijalnih primjena za robotiku u preradi hrane: u mesnoj industriji, roboti se koriste u klanju, otkoštavanju, rezanju, te za sortiranje i pakiranje. Mogu se koristiti i za hvatanje i stavljanje predmeta kao što su hamburgeri, čokoladne praline, kroasane, pileće fileje ili kolače u primarnu ambalažu. Osim toga, roboti se već koriste na linijama za pečenje gdje služe za rukovanje vrućim posudama. Uloga robota u ovakvim poslovima je pozitivna jer zamjenjuju ljude u opasnim sredinama i obavljaju poslove za koje većina ljudi nije zainteresirana. Štoviše, roboti minimiziraju izravan kontakt radnika s proizvodima. Početkom 1990-ih, prve primjene u prehrambenoj industriji videne su u rukovanju proizvoda u pekarskoj industriji. Ovi roboti su obavljali jednostavne operacije gdje su prebacivali pekarske proizvode i to razumno brzinom od 55-80 proizvoda po minuti.

### **3.4. USLUŽNI ROBOTI U INDUSTRIJI HRANE**

Industrija posluživanja hrane najnoviji je pristup u korištenju robota u prehrambenoj industriji (Asif i sur., 2015). Ovo je najinovativnije područje koje do sada nije u potpunosti iskorišteno. Budući da se ovo izravno odnosi na maloprodaju, restorane i potrošače, smatra se uzbudljivom promjenom životnog stila i načina na koji gledamo na kulinarstvo. Od pripravljanja koktela do prevrtanja hamburgera, mnoge tvrtke s hranom i pićem počinju otkrivati prednosti korištenja robota za poboljšanje njihove produktivnosti. Kako tehnologija napreduje, a umjetna inteligencija postaje sve dostupnija, roboti za posluživanje hrane i pića postaju sve uobičajeniji. Restorani i hoteli mogu imati iznimnu korist od ovih robota, koji su automatski, inteligentni i beskontaktni. Mogu automatizirati proces pravljenja hrane ili pića, uštedjeti novac i ljudske resurse, obogatiti jelovnike, napraviti manje pogrešaka, smanjiti bacanje hrane i raditi 24 sata bez povišice i odmora. Primjeri ovakvih robota se već nalaze na svjetskom tržištu. Nedavno napravljen od strane pokretača DoorDash, Sally je robot za izradu salata, koji miješa do 8 svježih sastojaka od povrća do lososa u zdjelu u samo 90 sekundi! Uz pružanje brzog i zabavnog iskustva za kupce, Sally također pomaže lancima brze hrane da prošire svoje jelovnike i dodaju salate i zdravije opcije bez zapošljavanja dodatnog osoblja ili promjena u kuhinji. Joše jedan primjer je robot za izradu pizze, Picnic. Cijeli je proces automatiziran u ovom modularnom i prilagodljivom sustavu, počevši od razvijanja tijesta, mazanjem umaka, dodavanja sira, zatim dodavanja ostalih sastojaka te pečenja pizze. Picnic može proizvesti stotine pizza po satu sa samo jednim operaterom koji ga nadgleda gdje omogućujući ostatku osoblja da bude zaokupljeno pripremom ostale hrane.



**Slika 17.** Robot za pripremu i pečenje pizze (Anonymous 11)

### **3.5. PRIMJENA ROBOTSKIH I AUTOMATIZACIJSKIH SUSTAVA U INDUSTRIJI U HRVATSKOJ**

Nasuport ostatka svijeta, gdje je većina robota zastupljena unutar automobilske i metalne industrije, u Hrvatskoj je zbog činjenice da ta industrija nije zastupljena, većina robota zastupljena unutar prehrambene i kemijske industrije. Također, kao i u ostatku prehrambene industrije u svijetu, u Hrvatskoj većina robota je smještena na završnim radnjama poput pakiranja i paletiziranja. U zadnja dva desetljeća vidljiv je značajan porast primjene ovakvih sustava u svim granama prehrambene i farmaceutske industrije i to kod velikih i srednjih proizvođača. Kao primjer se može navesti Zagrebačka Pivovara d.o.o. koja ima instalirana dva industrijska robota. Robot tvrtke GOLDPACK Packaging Systems je instaliran u pogon 2008. godine te radi na procesu manipulacije, depaletizacije i paletizacije metalnih kegova (bačvi) od 30 ili 50 litara s kapacitetom 180 bačvi po satu. Drugi robot od proizvođača Fanuc instaliran je u pogon 2006. godine te radi na procesima paletiziranja i depaletiziranja limenki između dvije pokretne linije.

Tvrtka Franck d.d. također posjeduje četiri industrijska robota. Dva industrijska robota rade na paletiziranju kutija gotovih proizvoda. Oba robota su robotske ruke proizvođača KUKA te su instalirani u pogon 2015. i 2016. godine. Druga dva robota rade na formiranju i punjenju kartonskih kutija. Oba robota su marke ABB IRB-1600 i instalirana su u pogon 2015. godine.

Najviše ugrađenih industrijskih robota imata farmaceutska tvrtka Pliva d.o.o. s dvadeset instaliranih robota. Njihov asortiman robota se sastoji od četiri KUKA robota, instalirana 2012. god. za paletiziranje i punjenje kutija, četiri GT vozila i sedam VM automatskih vozila instaliranih 2000. i 2001. god. i služe za mobilni transport paleta i skladištenje robe. Svi navedeni mobilni roboti se kreću pomoću posebnih oznaka na podu. Uz navedeno, također imaju i pet CIMAT robota marke FLV 1 instaliranih 2000. i 2008. god. koji su montirani na strop postrojenja i služe za prenos proizvodnih posuda.

Tvrtka Istarska Pivovara d.o.o. ima instalirana dva industrijska robota. Jedan robot je proizveden tvrtke TRANSPAK i instaliran je u pogon 2009. god. te služi za paletizaciju i depaletizaciju sanduka za pivo. Drugi robot je od proizvođača KUKA instaliran 2011. god. i služi za paletizaciju PET boca.

## **4. IZAZOVI I INOVACIJSKI CILJEVI U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI**

Rast broja stanovnika, te porast platežne moći u razvijenim zemljama uzrokuju porast potražnje za hranom te se predviđa 40 % rast do 2050. godine (Elferink i Schierhorn, 2016). To zahtjeva povećanje proizvodnje uz upotrebu automatizacije i robotike (Rehman i sur., 2019). Ključni izazovi europske prehrambene industrije odnose se na: i) povećanje međunarodne konkurencije; ii) povećanje svjetske potražnje za hranom; iii) brige vezane uz sigurnost i kvalitetu hrane; iv) zanimanja za hranu s dodanom vrijednošću; v) mijenjanje stavova i novih potrošačkih trendova. Robotski sustavi sve više zauzimaju glavnu ulogu u prehrambenoj industriji u Europi, a razvoj i korištenje robotskih sustava ključno je da bi se ostvarila konkurentna prednost. Europskoj industriji hrane i pića pripadaju 274 000 europskih kompanija koje se bave velikom proizvodnjom hrane i pića budući moraju zadovoljiti potrebe za 500 milijuna potrošača dnevno. Industrija hrane i pića je manje inovativna u usporedbi s ostalim proizvodnim sektorima, ali iste te kompanije uvode novine više nego ostale industrije u svijetu. Inovacijski ciljevi prehrambene industrije kreću se od poboljšanja kako kvalitete tako i raznolikosti proizvoda i usluga, povećanja udjela na tržištu, pa sve do poboljšanja zdravlja i sigurnosti i tu svoje mjesto pronalaze automatizacija i robotika.

Prvi roboti bili su industrijski roboti koji su zamijenili ljudske radnike koji rade jednostavne ponovljive zadatke. Montažne linije u tvornicama mogu raditi bez prisutnosti ljudi jer su dobro definirani parametri okruženja u kojem se robot nalazi te obavlja zadatke po određenom redu, djelujući na objekte točno postavljene ispred njega. Prema dizajnu moglo bi se smatrati takve robote samo automatiziranim uređajima, a ne robotima. Međutim, današnji automati se oslanjaju na interakciju s okolinom uz pomoć senzora i mogućnost samoučenja što ih razlikuje od običnih automatiziranih uređaja. Nasuprot tome, njihov dizajn je pojednostavljen jer rade u prilagođenim sredinama kojima većinom ljudi ne smiju prići dok robot radi. Unatoč tome, današnjim robotima je potrebna veća fleksibilnost, na primjer, uočavanje objekata u različitim orijentacijama i pozicijama te mogućnost razlikovanja različitih vrsta objekata te mogućnost manipulacije s njima. Također roboti mogu služiti za prijevoz robe od i do skladišta što im donosi dodatnu autonomiju, ali osnovna karakteristika ostaje da je okolina više-manje ograničena i može se prilagoditi robotu. Potrebna je dodatna fleksibilnost kada su industrijski roboti u interakciji s ljudima i potrebni su strogi sigurnosni



zahtjevi, kako robotske ruke tako i za mobilne robote. Konkretno, brzina robota mora biti smanjena i mehanički dizajn mora osigurati da pokretni dijelovi ne predstavljaju opasnost za korisnika. Prednost kod ljudi koji rade s robotima je da svatko može izvesti ono što radi najbolje, roboti obavljaju ponavljajuće ili opasne zadatke, dok ljudi izvode složenije korake i definiraju sveukupne zadatke za robota.

U vrlo strukturiranim tvornicama roboti dijele okoliš s ljudima i stoga njihov osjet mora biti iznimno pouzdan. Velik dio istraživanja i razvoja u robotici danas je usmjeren na izradu autonomnih robota s poboljšanim senzorima i mogućnosti inteligentne kontrole. Bolji senzori mogu uočiti detalje u složenijim situacijama, ali za rješavanje takvih situacija ponašanje robota mora biti vrlo fleksibilno i prilagodljivo. Vrlo aktivno polje istraživanja je sam vid robota preko kamera. Današnjom tehnologijom kamere su visoke rezolucije i jeftine, a podaci dobiveni iz njih su vrlo bitni. Ulažu se naponi kako bi sustavi snimanja postali fleksibilniji i gdje bi roboti imali mogućnost učiti iz postupaka koje čovjek radi i prilagoditi se novim situacijama. Još jedno aktivno polje istraživanja bavi se interakcijom između ljudi i roboti. To uključuje i osjet i umjetnu inteligenciju, ali također se mora uzeti u obzir psihologiju i sociologiju takve interakcije.

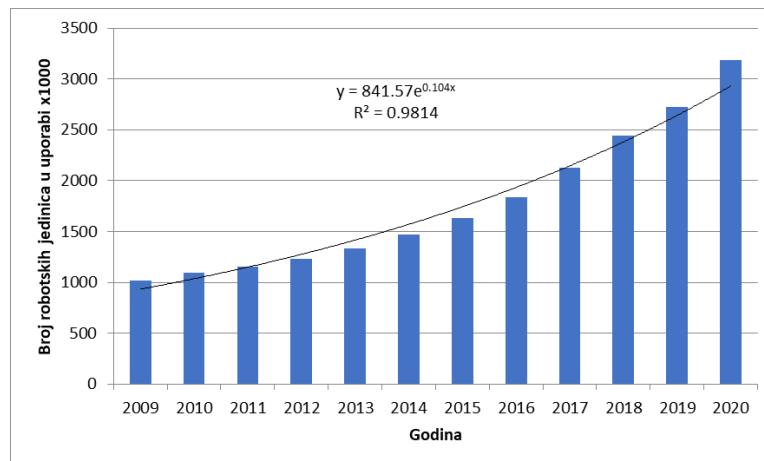
Slijedeći imperativ koji se nameće u razvoju robotske tehnologije te povećanju primjene u prehrambenoj industriji svakako je interakcija ljudi i robota u proizvodnom procesu. Tu treba istaknuti jednostavnost upravljanja i zajednički rad ljudi i robota. Industrijski roboti držani u odvojenim kućištimama koji su zahtjevali komplicirane procedure instalacije i upravljanja su prošlost. Zahvaljujući inovacijama, današnji uređaji postali su dovoljno jednostavni da mogu raditi zajedno s ljudima, a da ne predstavljaju sigurnosni rizik. Danas je industrija proizvodnje robota usmjerena na rast proizvodnje robota koji se lako instaliraju i programiraju i kojima se lako upravlja. Prisutno je programiranje putem demonstracije, korištenje alata kao što su proširena ili virtualna stvarnost te kvalitetnije sučelje za interakciju ljudi i robota.

Uz ovu vrstu robota omogućena je primjena u malim i srednjim poduzećima u kojima je nedostatak iskustva u radu s robotima ključna prepreka za ulazak na ovo tržište što im osigurava konkurentnost. Ovaj trend postaje izuzetno značajan, jer se sve više proizvođača suočava s nedostatkom radne snage. Ovo je posebno naglašeno u industrijama s visokom fluktuacijom zaposlenika koji rade niže kvalificirane poslove te primjena sustava s jednostavnijim upravljanjem ne zahtijeva dugotrajnu obuku.

Zajednički rad ljudi i robota omogućava kvalitetniju interakciju između ljudi i robota što podrazumijeva paralelni rad u istom prostoru i suradnju na realizaciji zajedničkih zadataka. Kolaborativni roboti ili „koboti“ su uređaji projektirani za fizičku interakciju s ljudima i kao takvi uveli su revoluciju u način rada tvornica. Za jačanje fleksibilnosti proizvodnje, u pogledu zahtjeva za mješovitom proizvodnjom manjih serija i količina, ključan čimbenik je suradnja ljudi i robota. Sigurna koegzistencija, na fleksibilan način bez sigurnosnih barijera u tvornici, pri čemu ljudi daju svoju jedinstvenu sposobnost prilagođavanja promjenama i improvizaciji, a roboti daju neprekidnu izdržljivost za obavljanje repetitivnih zadataka. To, primjerice, mogu biti radnje koje uključuju dodavanje različitih materijala robotima, promjenu programa i kontrolu novih serija pri čemu je važno postizanje ravnoteže između sigurnosti i potrebe da roboti rade punom brzinom.

#### 4.1. SVJETSKE PROJEKCIJE PRIMJENE ROBOTA U INDUSTRIJI

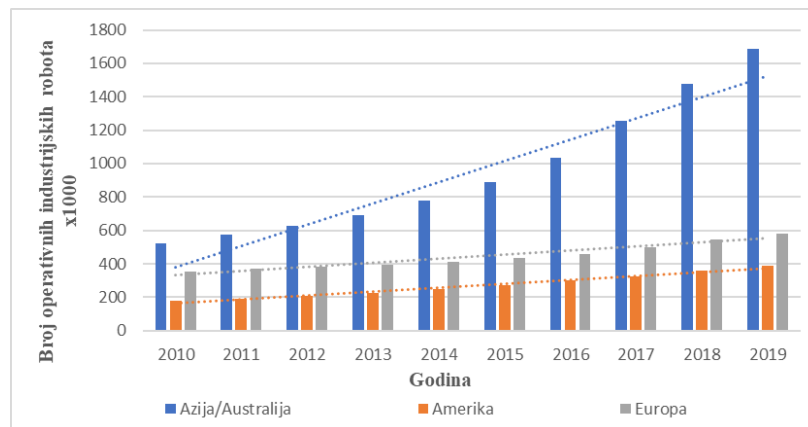
Napretkom tehnologije pristupačnost industrijskih robota se znatno povećala. Sve više industrija se okreće prema automatizaciji i primjeni robota u te svrhe. Cijena robota se znatno smanjila od kada su se prvi roboti pojavili na tržištu. Pojavom pandemije Covid-19 došlo je do smanjenja radne snage unutar industrija zbog nemogućnosti putovanja ljudi do radnog mjesta i potrebne socijalne distance između radnika. Posljedično tome poslodavci su rapidno uveli automatizacijske procese unutar postrojenja. Samo unutar 2019. god. u svijetu je instalirano više od 373000 jedinica robota. Unutar 2020. god. broj prodanih jedinica robota iznosio je 465000 jedinica što je porast od 19,6 % nasuprot 2019. godine. Prema podacima međunarodnog udruženja za robotiku (International Robotic Association, IRA) prikazanog na slici 18. vidljiv je godišnji porast broja industrijskih robota i uočava se rekordan broj industrijskih robota u 2020. godini. Ako se nastavi ovaj dosadašnji trend pretpostavka je da će porast broja industrijskih robota unutar 2021. god. iznositi 12%, ali poremećaj na tržištu elektroničkih komponenti, posebice čipova uslijed pandemije, mogao bi uzrokovati neostvarenej predviđenih povećanja.



**Slika 18.** Godišnji rast instaliranih robotskih jedinica (prema <https://www.ira.international/>)

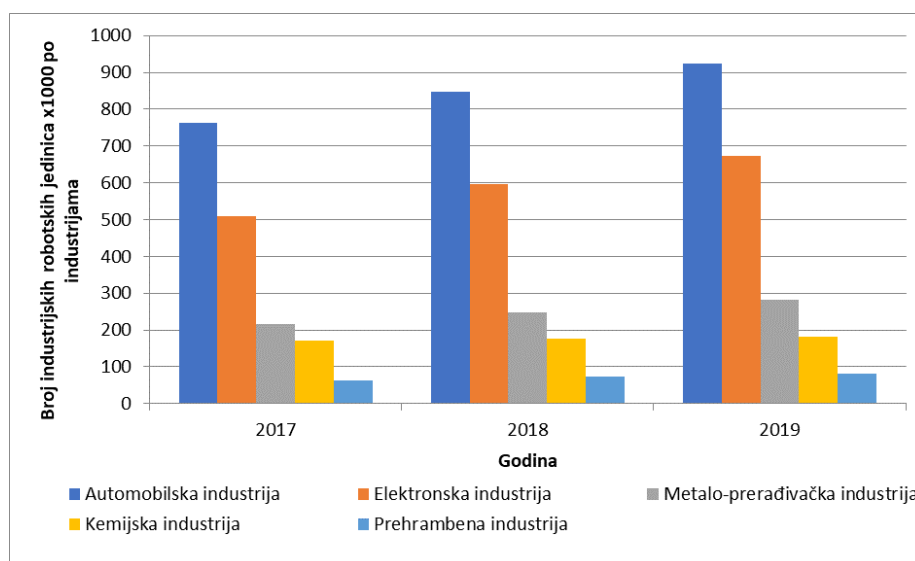
U pogledu rasprostranjenosti robota po kontinentima, kako je vidljivo sa slike 19., mogu se istaknuti azijske zemlje, Kina na prvom mjestu u kojoj je instalirano 1405000 robotskih

jedinica te Japan s 499000 instaliranih jedinica robota. Godišnji linearni rast s koeficijentom smjera daleko većim od linearnog rasta u Europi koji ima približnu vrijednost s trendom rasta u Americi, ali je broj instaliranih kapaciteta veći. U europskom robotskom sektoru najveća zastupljenost robota je u Njemačkoj s 205000 instaliranih jedinica, a slijede Italija i Francuska.



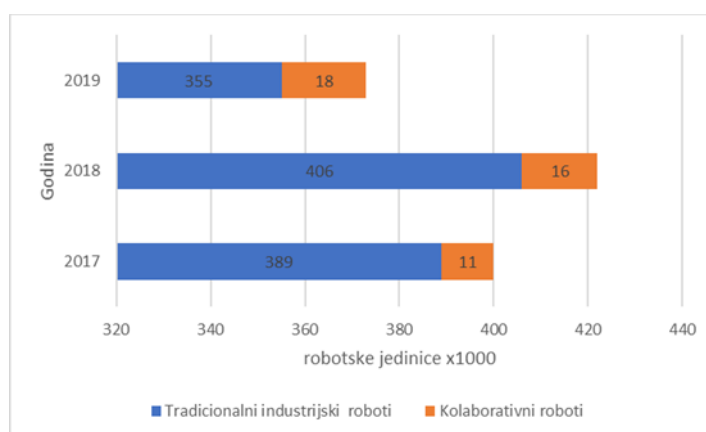
**Slika 19.** Rasprostranjenost robota po kontinentima (*prema* <https://www.ira.international/>)

Raspodjela prema granama industrije prikazana je na slici 20. pri čemu se može uočiti primat automobilske industrije i linearni porast instaliranih kapaciteta za razdoblje od 2017-2019. godine.



**Slika 20.** Raspodjela robotskih jedinica prema granama industrije (*prema* <https://www.ira.international/>)

Prehrambena industrija, zbog ranije spomenutih specifičnosti i posebnih zahtjeva u pogledu higijenskih standarda te različitih materijala po broju instaliranih kapaciteta daleko je manja, ali se može uočiti blagi linearni porast tijekom prethodnih godina. Napretkom u razvoju senzora i robotskih hvataljki posebnog dizajna pretpostavlja se da će unutar prehrambene industrije znatno porasti primjena industrijskih robota u nadolazećim godinama. Zbog zahtjeva za fleksibilnošću proizvodnje vidljiv je porast prodaje kolaborativnih robota kako je prokazano na slici 21.



**Slika 21.** Odnos volumena prodaje tradicionalnih industrijskih robota i kolaborativnih robota trogodišnjem razdoblju. (prema <https://www.ira.international/>)

## 5. ZAKLJUČAK

1. Roboti i automatizirani sustavi zamjenjuju ljudski rad i pridonose povećanju tržišne vrijednosti proizvoda, te proizvodnji ujednačenih proizvoda.
2. Razvoj senzora i robotskih hvataljki posebnog dizajna unutar prehrambene industrije omogućit će porast primjene industrijskih robota u prehrambenoj industriji u nadolazećim godinama.
3. Napretkom tehnologije upravljanja robotskih sustava pristupačnost industrijskih robota se znatno povećala.
4. Slijedeći imperativ koji se nameće u razvoju robotske tehnologije te povećanju primjene u prehrambenoj industriji svakako je interakcija ljudi i robota u proizvodnom procesu.
5. Daljnja istraživanja idu u smjeru kibernetičko-fizikalnih sustava (engl. *Cyber Physical System – CPB*) koji multidisciplinarnim pristupom povezuje realni svijet s virtualnim, a daje mogućnost praćenja hrane od polja do stola.
6. Potpuna automatizacija i robotika lanca proizvodnje i prodaje hrane omogućava potpunu digitalizaciju te razvoj pametnih tvornica (engl. *Smart factory*).

## 6. LITERATURA

Anonymous 1. <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1806-01/>. Pristupljeno 12. srpanj, 2021.

Anonymous 2. [https://coptel.cz/pluginfile.php/14656/mod\\_resource/content/1/prumyslove\\_roboty.pdf](https://coptel.cz/pluginfile.php/14656/mod_resource/content/1/prumyslove_roboty.pdf). Pristupljeno 11. srpnja 2021.

Anonymous 3. <https://rnrrobotsolutions.com/shop-robots/>. Pristupljeno 20. srpnja 2021.

Anonymous 4. <https://parallelrobots.wordpress.com/2012/07/05/delta-parallel-robot-the-story-of-success/>. Pristupljeno 17. srpnja 2021.

Anonymous 5. <https://www.catalannews.com/society-science/item/sophia-the-humanoid-robot-visits-barcelona-for-first-time>. Pristupljeno 12. rujna 2021.

Anonymous 6. <https://www.agriculture.com/technology/robotics/the-future-of-robotic-weeders>. Pristupljeno 16. rujna 2021.

Anonymous 7. <https://www.directindustry.com/prod//abb-robotics/product-30265-169123.html>. Pristupljeno 11. rujna 2021.

Anonymous 8. <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/dairyservice-dairy-farm-service/gea-farmview.jsp>. Pristupljeno 6. listopada 2021.

Anonymous 9. <https://www.freshplaza.com/article/2175737/mechanical-harvesting-robot-received-attention-at-macfrut/>. Pristupljeno 4. listopada 2021.

Anonymous 10. <https://houston.culturemap.com/news/innovation/12-23-19-hylio-agrodrone-crop-spraying-arthur-erickson-donald-trump-agriculture-bill/>. Prsitupljeno 12. rujna 2021.

Anonymous 11. <https://www.bangkokpost.com/business/2144499/paris-gets-a-taste-of-pizza-making-robots>. Pristupljeno 17. rujna 2021.

Agrawal AK, Karthikeyan S, Goel BK, Khare A, Shrivastava AK, Mishra UK (2010) Robotization of Indian Dairy Industry: An Indispensable Step in Futuristic Processing Plants. U: Proceeding of National Seminar on Paradigm shift in Indian Dairy Industry, 136-139.

Asif M, Jan S, Rahman MUR, Khan ZH (2015) Waiter robot: solution to restaurant automation. U: Proceedings of the 1st Student Multi-Disciplinary Research Conference (MDSRC), Wah, Pakistan, 14–15.

Asimov I (1942) *I, Robot*. U: Runaround, Spectra Books, New York, 94–103.

Bader F, Rahimifard S (2018) Challenges for Industrial Robot Applications in Food Manufacturing. U: Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control (ISCSIC '18). *ACM Digital Library* **37**, 1-8. <https://doi.org/10.1145/3284557.3284723>

Beekman J, Bodde R (2015) Milking automation is gaining popularity – Dairy Global. <https://www.dairyglobal.net/Milking/Articles/2015/1/Milking-automation-is-gaining-popularity-1568767W/>. Pristupljeno 11. rujna 2021.

Ben-Ari M, Mondada F (2018) *Elements of Robotics* [online], Springer, Cham, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1>, Pristupljeno 6. studenog 2021.

Birnie JV (1974) Practical Implications of Programmable Manipulators. *Ind Robot* **1**, 122–128. <https://doi.org/10.1108/eb004720>

Bloch V, Degani A, Bechar A (2018) A methodology of orchard architecture design for an optimal harvesting robot. *Biosyst Eng* **166**, 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.006>

Butler D, Holloway L, Bear C (2012) The impact of technological change in dairy farming: robotic milking systems and the changing role of the stockperson. *J Royal Agric Soc Eng* **173**, 1-6.

Brien WH, Malloy J (1993) Method and apparatus for automatically segmenting animal carcasses. Patent US5205779.

Calderone L (2013) Food processing without the human touch – Robotics Tommorrow, [http://roboticstomorrow.com/content.php?post\\_type=185](http://roboticstomorrow.com/content.php?post_type=185) 1. Pristupljeno 27. rujna 2021.

Capek K (2004). *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*, Penguin Ed, Fayetteville.

Clavel R (1991) Conception d'un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté (doktorski rad), EPFL, Lausanne, Switzerland. <https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-925>



Donev J (2018) Computers and robots – The Fourth Generation. <https://4thgeneration.energy/computers-and-robots/>. Preuzeto: 16. studenog 2021.

Čurlin M, Bebek J (2018) Robotika u prehrambenoj industriji. *Kem Ind* **67**, 282-285.

Demartini M, Pinna C, Tonelli F, Terzi S, Sansone C, Testa C (2018) Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions. *IFAC PapersOnline* **51**, 1371–1378. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.337>

Devol G (1954) Programmable Article Transfer. Patent US2988237

DZS (2021) DZS-Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/>, Pristupljeno 21. studeni 2021.

Elferink M, i Schierhorn F (2016) Global demand for food is rising. Can we meet it? *Harvard Bus Rev* **94**, 2–5.

Fentanes JP, Badiie A, Duckett T, Evans J, Pearson S, Cielniak G (2020) Kriging-based robotic exploration for soil moisture mapping using a cosmic-ray sensor. *J Field Robot* **37**, 122–136. <https://doi.org/10.1002/rob.21914>

Iqbal J, Khan ZH, i Khalid A (2017) Prospects of Robotics in Food Industry. *Food Sci Technol.* **37**, 159–165. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.14616>

Kemphome H (1995) Robotic processing of carcasses, *Food Technology in New Zealand*, 12-14.

Kondo N (2003) Fruit grading robot. U: Proceedings. of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Kobe, Japan, 1366-1371. <https://doi.org/10.1109/AIM.2003.1225542>

Legg B (1993) Hi-tech agricultural engineering - A contradiction in terms or the way forward. *Mechanical Incorporated Engineer*, 86-90.

Madsen KB, Nielsen JU (2002) Automated meat processing. U: Kerry JP, Kerry JF, Ledward D (ured.) Meat processing– improving quality, Wood head Publishing Ltd, 70-88

Makino H, i Furuya N (1980) Selective Compliance Assembly Robot Arm. U: Proceedings of 1st International Conference on Assembly Automation (ICAA), Brighton, 77-86.

Magnifier Research (2020) Global robotics milking systems market 2020 with (Covid-19) impact analysis, product type, application, key manufacturers, regions and forecast to 2025.- Magnifier Research. <https://www.magnifierresearch.com/report/global-robotics-milking-systems-market-report-2020-forecast-33211.html>. Pristupljeno 28. studenog 2021.

McCarthy U, Uysal I, Badia-Melis R, Mercier S, O'Donnell C, Ktenioudaki A (2018) Global food security – Issues, challenges and technological solutions. *Trends Food Sci Tech* **77**, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.002>

Nayik GA, Muzaffar K, Gull A (2015) Robotics and Food Technology: A Mini Review. *J. Nutr. Food Sci.* **5**, 384. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000384>

Purnell G (1998) Robotic equipment in the meat industry. *Meat Sci* **49**, 297-307.

Rehman TU, Mahmud MdS, Chang YK, Jin J, Shin J (2019) Current and future application of statistical machine learning algorithms for agricultural machine vision systems. *Comput Electron Agr* **156**, 585–605. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.006>

Scheinman V (1973) Design of a Computer Controlled Manipulator (doktorski rad), Stanford University, California.

Stone RS, Brett PN (1994) A novel tactile sensing technique for non-rigid materials. U: Proceedings of Euriscon 94, Malaga, 1384-1393.

Suprem A, Mahalik N, Kim K (2013) A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. *Comput Stand Inter* **35**, 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2012.09.002>

Von Borstel Luna FD, de la Rosa Aguilar E, Suárez Naranjo J, Gutiérrez Jagüey J (2017) Robotic system for automation of water quality monitoring and feeding in aquaculture shadehouse. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* **47**, 1575-1589. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2016.2635649>

Wallen J (2008) The History of the Industrial Robot. *Technical report from Automatic Control at Linköpings universitet*. <http://www.control.isy.liu.se/publications> Pristupljeno 9. rujna 2021.

Wallin PJ (1997) Robotics in the food industry: An update. *Trends Food Sci Tech* **8**, 193 – 198.

Wilson M (2010) Developments in robot applications for food manufacturing. *Ind Robot* **37**, 498-502. <https://doi.org/10.1108/01439911011081632>

World Economic Forum (2020) The global risks report 2020. <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020> Pristupljeno 16. studenog 2021.

Zamalloa I, Kojcev R, Hernandez A, Muguruza I, Usategui L, Bilbao A, Mayoral V (2017) Dissecting Robotics – Historical Overview and Future Perspectives. *Acutronic Robotics* <https://arxiv.org/pdf/1704.08617.pdf>. Pristupljeno 15. rujna 2021.

## IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja Franko Dominik Ljubić izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

---

Vlastoručni potpis