

Utjecaj primjene robotike na produktivnost

Punčikar, Leoni

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:895993>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-09**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli

LEONI PUNČIKAR

UTJECAJ PRIMJENE ROBOTIKE NA PRODUKTIVNOST

Završni rad

Pula, rujan 2021.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli

LEONI PUNČIKAR

UTJECAJ PRIMJENE ROBOTIKE NA PRODUKTIVNOST

Završni rad

JMBAG: 0303061580, redoviti student

Studijski smjer: Informatika

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti

Znanstvena grana: Automatizacija i robotika

Kolegij: Ekonomika informacijskih sustava

Mentor: izv.prof. dr.sc. Ivan Pogarčić

Pula, rujan 2021.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani _____, kandidat za prvostupnika
_____, ovime izjavljujem da je ovaj završni
rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se
oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem
da niti jedan dio završnog rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da ni/je prepisan
iz kojega necitiranog rada, te da nijedan njegov dio ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem,
također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj,
znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, _____, _____ godine



IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, _____, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst, trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, _____, _____ godine

Potpis

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Općenito o robotici | 2 |
| 2.1. Povijesni razvoj | 2 |
| Prva generacija industrijskih robota (1950. - 1967.) | 2 |
| Druga generacija industrijskih robota (1968. - 1977.) | 4 |
| Treća generacija industrijskih robota (1978.-1999.) | 6 |
| Četvrta Generacija (Inteligentni roboti) (1999.-2017.) | 7 |
| Peta Generacija (suradnički i osobni roboti) (2017.- u tijeku) | 7 |
| 2.2. Podjela robotike | 8 |
| 2.3. Podjela robota | 8 |
| 3. Utjecaj automatizacije na ekonomiju | 10 |
| 4. Utjecaj automatizacije na produktivnost | 16 |
| 5. Budući razvoj robotike | 20 |
| 6. Zaključak | 24 |
| 7. Literatura | 25 |
| 8. Popis slika i tablica | 26 |

1. Uvod

Pojava robota, programski upravljano mehaničkog uređaja koji manipulira objektima u svojoj okolini, u industrijskoj proizvodnji označila je početak razdoblja u kojem se ljudski rad zamjenjuje robotima koji unutar procesnih aktivnosti čine automatizaciju. Roboti nisu u potpunosti oduzeli posao ljudima već su preuzeli rad na specifičnim zadacima, onima koje ljudi ne mogu obavljati zbog fizičkih ograničenja ili opasnosti, prvo kao pomagalo u serijskoj proizvodnji pa sve do uređaja koji mogu konstantno učiti te nadopunjavati i pomagati čovjeku u svakodnevnom životu. Upotreba robota kao sredstvo automatizacije u proizvodnji trend je koji se nastavlja od 1950-ih te ostavlja traga na globalnim ekonomskim kretanjima. Proces uvođenja automatizacije u sve grane industrije nije ravnomjeran već se dijeli na tri razine: nisku, srednju i visoku, time one predstavljaju ovisnost implementacije robota i automatizacijskih procesa. Grane industrije koje su značajno povećale implementaciju automatizacije su: automobilska, transportna i kemijska industrija, u njima ljudski resursi ne mogu ispunjavati očekivanja kakva se stavljaju pred robota, a to je u što kraćem vremenu obaviti posao sa što manjom mogućnošću greške. Rezultati utjecaja robota na poslovnu produktivnost i ekonomiju podijeljenim po industrijama prikazani su u nastavku rada. Vidljiv je utjecaj na raspodjelu ljudi po grupama poslova koji se znatno razlikuju od onih koji su bili prilikom pojave prvih robota sredinom prošlog stoljeća te pogotovo drastičnu razliku u razdoblju posljednjih 20 godina, što zbog razvoja tehnologije, ali i novih mogućnosti obrazovanja i specijalizacije. Glavni cilj trenutne proizvodnje je postići što veću produktivnost uporabom automatizacije no pritom ne zanemariti ljudski rad. Kako bi se postigao navedeni cilj sve veća je potražnja za poslovima srednje razine u koje pripadaju strojari, tehničari i specijalisti za uska područja u tehnologiji. Parametar koji dokazuje trendove porasti uporabe robota svakako je gustoća robota, koja se u ovisnosti o različitim studijama može objasniti kao broj robota na tisuću radnika ili kao broj robota na milijun odrađenih sati. Razlika u definiranju gustoće i njen odnos s parametrima radnih sati, produktivnosti ili dodanom vrijednosti, kao i rezultati na globalnoj te europskoj razini prikazani su u nastavku rada. Nove grupe poslova, peta generacija robota, koji će biti neizostavan pogonitelj četvrte industrijske revolucije, pred nama je pred nama i kao takva ima perspektivu u potpunosti promijeniti globalnu ekonomiju.

2. Općenito o robotici

Naziv robotike označava interdisciplinarno znanstveno područje koje se bavi projektiranjem, konstruiranjem, upravljanjem i primjenom robota. Zasniva se na disciplini mehatronike, odnosno vezom elektrotehnike, mehanike i informatike. [1]

2.1. Povijesni razvoj

Ideja dizajniranja ili izrade bića, odnosno uređaja koje može raditi različite naporne poslove i to sa mogućnosti ponavljanja s minimalno ili ništa pogrešaka zamisao je koja seže u daleku povijest čovječanstva. Još u doba Stare Grčke takve tipove uređaja nazivali su automata. Danas tim nazivom nazivamo uređaje nalik čovjeku dok riječ **robot** ima šire značenje. Ona dolazi od češke riječi robota koja u prijevodu znači posao, rad. Termin robota prvi je koristio češki pisac Karel Čapek u svojoj noveli R.U.R.: Rossumovi univerzalni roboti, prvi put izdane 1920. godine.

Riječ **robotika**, prvi puta se pojavila 1942. u noveli pisca Isaaca Asimova Runaround. U njoj, Asimov je iznio tri pravila ponašanja robota koja su kasnije postala tri zakona robotike, a ona glase:

1. Robot ne smije naškoditi čovjeku ili svojom pasivnošću dopustiti da se čovjeku naškodi.
2. Robot mora slušati ljudske naredbe osim kada su one u suprotnosti s prvim zakonom.
3. Robot treba štiti svoj integritet, osim kada je to u suprotnosti sa prvim ili drugim zakonom.

Uporaba robota i automatizacije doživjela je svoj skok pojavom industrijskih robota tijekom 50-ih godina prošlog stoljeća te se povezuje s industrijskom revolucijom, stoga razvoj robota dijelimo u pet generacija:

Prva generacija industrijskih robota (1950. - 1967.)

U razdoblju prvih industrijskih robota, roboti nisu mogli komunicirati s okolišem te zbog svojih tehničkih nedostataka (većinom zbog loše opreme) nisu mogli upravljati proizvodnim procesom. Tada korišteni samo za osnovne operacije pripomoći ljudima, prepoznatljiviji su bili po tome što su proizvodili nenasnosnu buku. S tehničke strane, proces rada robota bio je takav da su se logički sklopovi koristili kako bi kontrolirali pneumatske aktuatori. **Aktuatori** ili aktori su uređaji koji reagiraju na pobudu upravljačkog signala te dovode dijelove sustava u određeni željeni položaj te su definirani kao izvršni uređaji koji direktno utječu na proces. [2]

George Devol dizajnirao je 1954. programabilni prijenos objekata (sl. 1.) koji je koristio kao baza za prvi industrijski robot u povijesti naziva Unimate (sl. 2.).

June 13, 1961

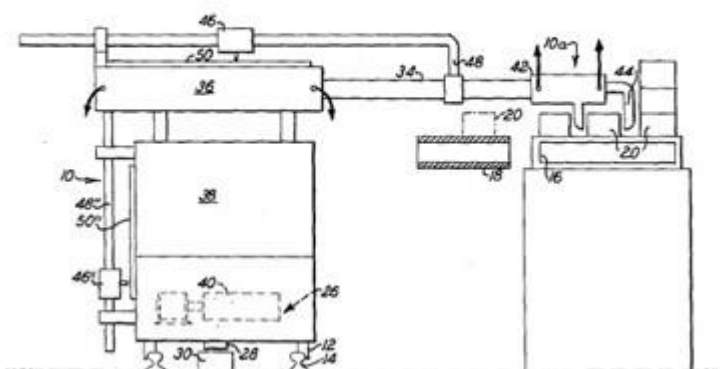
G. C. DEVOL, JR

2,988,237

PROGRAMMED ARTICLE TRANSFER

Filed Dec. 10, 1954

3 Sheets-Sheet 1



Slika 1. Izgled nacrtu patenta za programabilni prijenos objekata.

Izvor: https://cdn.theatlantic.com/media/mt/video_editor/robotpatent.jpg

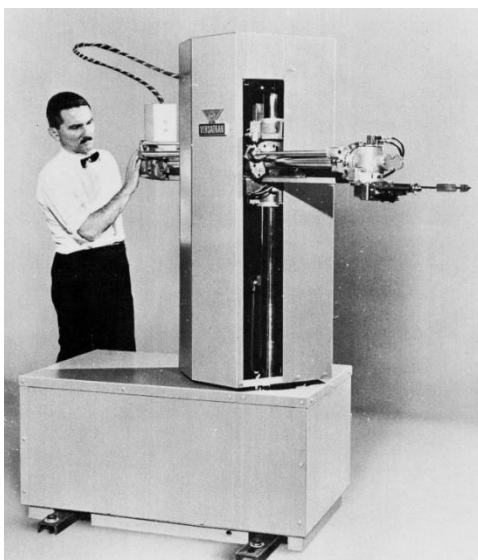


Slika 2. Robot Unimate.

Izvor: <https://assets.sutori.com/user-uploads/image/39741441-3cb7-4066-bf92-16f97c457ed1/acc1683708ba6342b0380dc706a0cc1.jpeg>

Unimate, pogonjen na hidrauliku, ubrzo je postao neizostavan dio automobilske industrije. U počecima koristio se pri razdvajanju dijelova iz ljevaonice, a kasnije za točkasto zavarivanje. Zbog loših tehničkih karakteristika i nemogućnosti reprogramiranja, svaka jedinica obavljala je isključivo jedan posao.

Razvojem automobilske industrije, ali i potencijala robota u industriji, sve više je proizvođača krenulo u rad s robotima. AMF korporacija 1962. izradila je robot Versatran (sl. 3.), cilindrični robot koji do tada nije viđen, na narudžbu Forda, stekao popularnost u industriji. Versatran je svoje djelovanje proširio i u Japan zbog čega je potražnja naglo porasla pa su Japanci 1969. preuzeli njegovu proizvodnju pod nazivom Kawasaki-Unimate. Od tog trenutka, Japan je postao vodeća zemlja u robotici. Usporedno s Japanom, roboti su pristigli i zauzeli svoj položaj u industriji i u Europi.



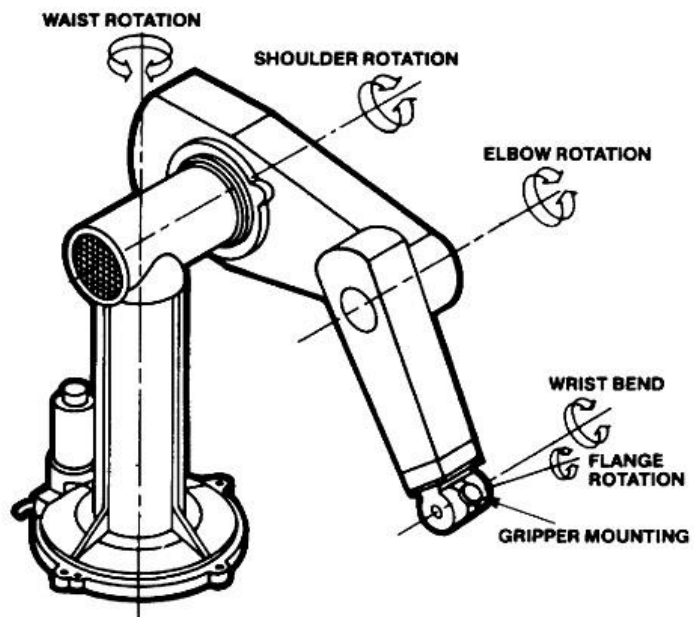
Slika 3. Robot Versatran.

Izvor: <https://assets.sutori.com/user-uploads/image/39741441-3cb7-4066-bf92-16f97c457ed1/accc1683708ba6342b0380dc706a0cc1.jpeg>

Druga generacija industrijskih robota (1968. - 1977.)

U drugu generaciju robota spadaju osnovni programirani uređaji s mogućnosti prilagodbe djelovanja te sa osnovnom mogućnošću prepoznavanja okoline. Ove vrste robota koristile su servo kontrolere koji su omogućili lakšu upravljivost od točke do točke te na određenim kontinuiranim dužinama. Sustav su sačinjavali mikroporcesori te PLC-ovi. Za razliku od robota prve generacije, ova vrsta robota mogla je obavljati kompleksnije zadatke, ali nisu imali veću mogućnost obavljanja više zadataka. Stoga, korištenje je i dalje bilo ograničeno na samo jedan zadatak, ovisno na koji je bio isprogramiran. Mogućnost izvještavanja o greškama bila je vrlo jednostavna, putem lampica, ali bez većeg uvida u prirodu greške. Desetljeće 1970-o označilo je prelazak s hidrauličnih aktuatora i pogona na gorivo na električne aktuatore i električni pogon, čime je robot postao potpuno električan uređaj. Velike promjene koje su se dogodile dovele su do naglog skoka potražnje za robotima sredinom 1970-ih.

Prvi potpuno električni robot izradio je Victor Scheinman na sveučilištu Stanford naziva Stanford Arm (en. Stanfordova ruka) koji je bio pogonjen na šest električnih motora kontroliranih PDP-6 mikroprocesorima. Ovaj robot imao je pet zglobova s mogućnošću zakretanja i jedan s mogućnošću linearnog pomaka. Kinematički lanac izrađen je od harmonijskih pogona i zupčanika. Dodatno pored svoje mogućnosti brzog odrađivanja zadataka, Stanfordova ruka imala je ugrađen tahometar i potenciometar kao senzore za izračun pozicije i brzine zglobova. Dodatnim nadograđivanjem nastao je Vicarm, rad istog autora Victora, robot manjih dimenzija namijenjen za sastavljanje dijelova u kojima robot nije bio pod velikim opterećenjem. U drugoj generaciji, po uzoru na Vicarm nastali su popularni roboti koji su ostavili trag u povijesti kao PUMA (Univerzalna programirana mašina za sastavljanje) (sl. 4.) te IRB (sl. 5.).



Slika 4. Robot PUMA.

Izvor: https://www.researchgate.net/profile/Mohammad_Gudarzi/publication/265601856/figure/fig1/AS:669381025607704@1536604281692/Schematic-structure-of-PUMA-560-robot-arm.ppm



Slika 5. Robot IRB, serija 6000.

Izvor: https://ifr.org/img/history/ABB_IRB1000.jpg

Treća generacija industrijskih robota (1978.-1999.)

Najduže razdoblje generacije donosi nam širi spektar interakcije s operatorom, ali i okolinom putem vizualnog ili audio sučelja. Ovi roboti imali su mogućnost samoprogramiranja i reprogramiranja kako bi se koristili za što više zadataka. Mogućnost prilagodbe kretnje u odnosu na okolinu jedna je od glavnih značajki koje su roboti treće generacije imali. Sa strane dijagnostike kvarova, roboti su mogli očitati mjesto kvara i prirodu istog.

Nova istraživanja na području kinematike dovela su do proizvodnje naprednijih robota, većinom izrađenih tako da odgovaraju radu na malim predmetima. Drugi veliki korak u inovaciji bilo je uvođenje direktnog pogona tako što se motor direktno spajao na „ruke“ što je omogućilo brže izvođenje te veću preciznost. Primjer integracije je u robotu AdeptOne SCARA (sl. 6.).

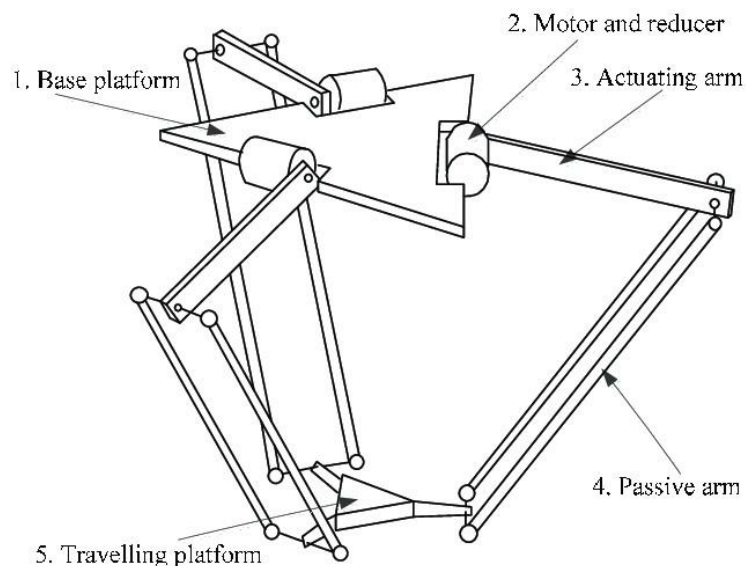


Slika 6. Robot AdeptOne SCARA, proizveden 1984.

Izvor:

<https://lh3.googleusercontent.com/proxy/FjzEkHIM5EI39rCewO6T4g1rOcZNXL3JgedGUIjsTrQ9vT8VbqJUjBgLPUcuIYm86ty3uRahR49LLFgYQ7NLUgeDmijf5ur8mvQ90fcyQMH0g>

Mogućnosti koju su pružile nove vrste robota, pogotovo u svijetu elektronike, odrazile su se tako što je Japan postao svjetski lider u proizvodnji elektronike i robota. Roboti su se nastavili razvijati, uskoro su se počeli ugrađivati napredni senzori (laseri, kamere, senzor pritiska) koji su omogućili razvoj paralelnih robota čiji je glavni adut bila brzina. Jedan takav primjer jest Delta robot (sl. 7.) kao i sinkronizirano kontrolirani roboti.



Slika 7. Nacrt robota Delta iz ranih 1980-ih.

Izvor: <https://www.researchgate.net/profile/Xingguo-Lu-2/publication/303469087/figure/fig3/AS:667602607153183@1536180273966/Scheme-of-the-Delta-robot.png>

Četvrta Generacija (Inteligentni roboti) (1999.-2017.)

Početak novog tisućljeća označio je novu generaciju robota koji sadrže napredna računala u kojima je i umjetna inteligencija prisutna. Roboti ove vrste više nisu ograničeni na rad s podacima već mogu kontinuirano učiti kroz svoj rad, a to im omogućuju sofisticirani senzori koji šalju informacije kontroleru koji ih potom analizira i time robotu omogućuje donošenje odluke. Razvoj tehnologije omogućio je situaciju u kojoj roboti postaju dio svakodnevnice kao npr. u medicini ili vožnji. Jedan od primjera s početka četvrte generacije je sustav za operacije Da Vinci izrađen 2000. godine (sl. 8.). Razvoj čipova doveo je do razvoja autonomne vožnje gdje glavno računalo prima podatke sa senzora koji, uz pomoć strojnog učenja, omogućuju donošenje ispravnih odluka. Tako je Tesla 2016. uvela hardver kojim omogućuje donekle autonomnu vožnju u automobilima vlastite proizvodnje. [3]

Peta Generacija (suradnički i osobni roboti) (2017.- u tijeku)

Roboti pete generacije postaju čovjekovi pomoćnici koji mogu sudjelovati u radu sa čovjekom u zajedničkoj okolini. Imaju mogućnost rekonfiguriranja te poboljšavaju sposobnosti čovjeka u radu s njim. Jedna od značajki robota ove generacije jest modularnost. [4]



Slika 8. Robot Da Vinci, namijenjen za medicinske zahvate.

Izvor: <https://www.researchgate.net/profile/Choong-Kim-2/publication/267715992/figure/fig1/AS:295565704351746@1447479763099/da-Vinci-surgical-robot.png>

2.2. Podjela robotike

Robot je programski upravljani mehanički uređaj koji se koristi senzori za vođenje jednog završnog mehanizma ili više njih po unaprijed određenoj putanji u radnoj okolini s ciljem manipuliranja fizičkim objektima. Prema stupnju samostalnosti, roboti se dijele na industrijske i mobilne. Ovisno o zadatku, roboti mogu biti:

- Manipulatori - operacije s radnim objektima, programirani u tri ili više osi, njima se bavi industrijska robotika
- Operacijski roboti - specifična upotreba te u eksperimentalnim primjenama
- Roboti za montažu - upotreba u serijskoj proizvodnji
- Roboti za kontrolu i mjerenje - upotreba u kontroli kvalitete

Mobilna robotika je višedisciplinarno područje tehnike koje se bavi razvojem i izvedbom autonomnih mobilnih robota. Upotreba mobilnih robota jest u opasnim poslovima koje čovjek teško ili uopće ne može obavljati, u vojne svrhe, svemirska istraživanja, filmskoj industriji te u zabavi. [5] [6]

2.3. Podjela robota

Glavna podjela robota je s obzirom na:

- vrstu pogona,

- geometriju radnog prostora,
- načine upravljanja.

Vrsta pogona robota može biti: električna, hidraulična i pneumatska. Električni su najzastupljeniji zbog svoje cijene, brzine i točnosti te omogućuju integraciju naprednih algoritama. Kod manipulacije teškim predmetima koriste se hidraulični roboti zbog svojstava nestlačivosti ulja, ali također nedostatak im je visoka cijena te opasnost od onečišćavanja. Pneumatski, koji koriste zrak kao medij nestlačivosti koriste se pretežito za laboratorijski rad.

Geometrija radnog prostora predstavlja skup točaka u trodimenzionalnom prostoru koje se mogu dohvatiti ručnim zglobovima robota. Geometrija ili veličina radnog prostora ovisi o broju zglobova, kao i tipu zgloba i duljinama članaka.

U industrijskim robotima koriste se dva tipa zglobova: rotacijski i translacijski. Različitim kombinacijama rotacijskih i translacijskih zglobova određene su sljedeće konfiguracije robota:

- pravokutna
- cilindrična
- sferna
- rotacijska
- SCARA tip (tri moguće kombinacije zglobova: rotacijski - translacijski - rotacijski, translacijski - rotacijski - rotacijski, rotacijski - rotacijski - translacijski).

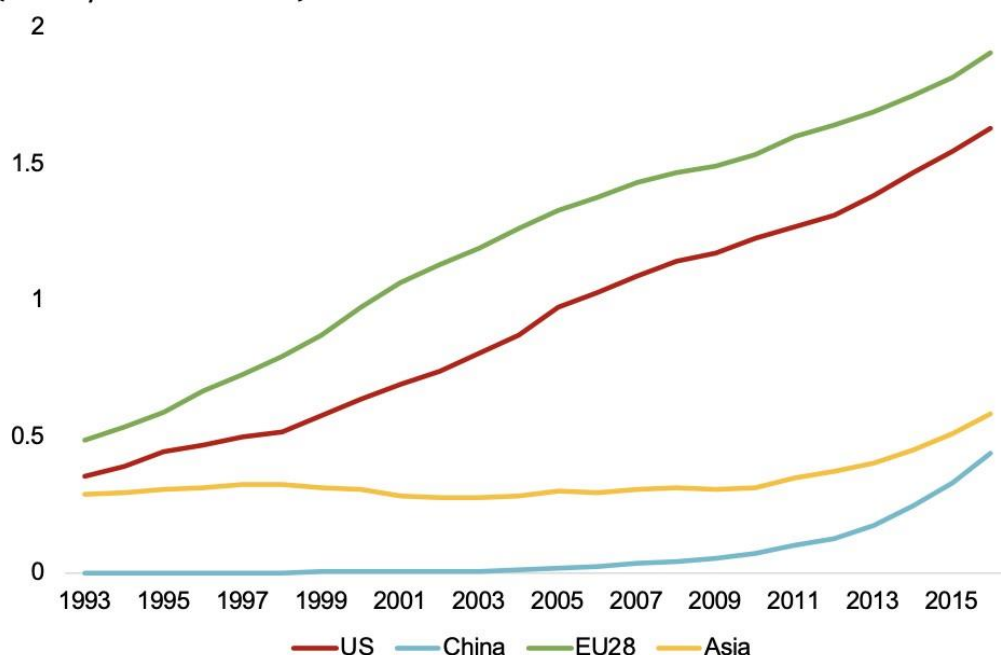
S obzirom na načine upravljanja kretanjem razlikuju se:

- kretanje od točke do točke,
- Kontinuirano gibanje po putanji.

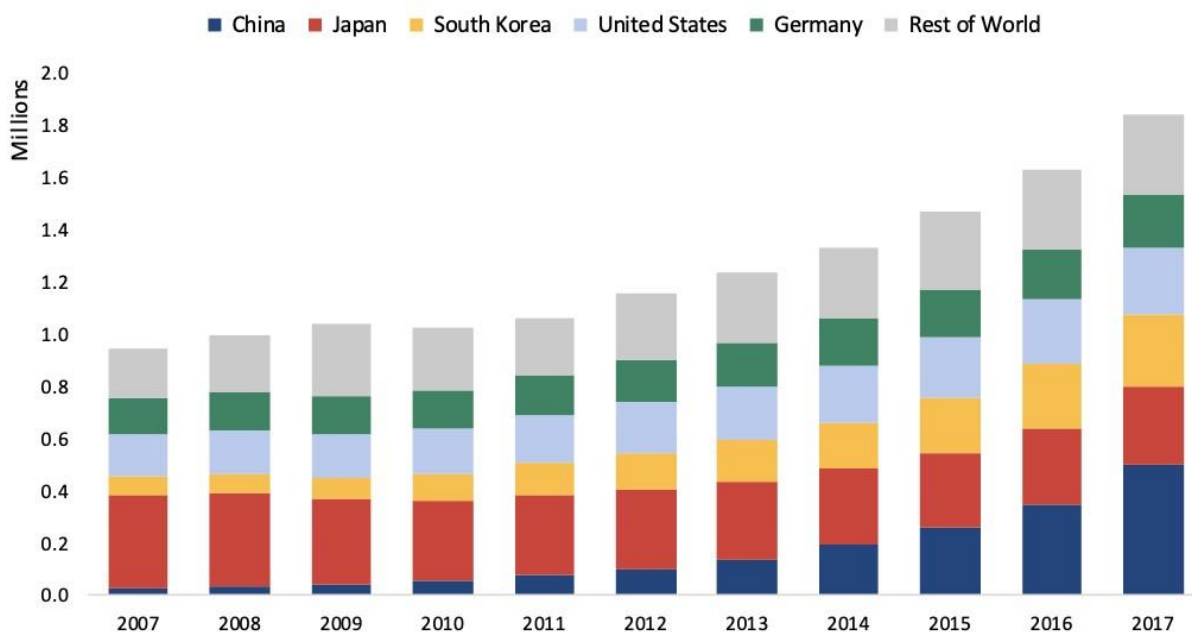
Kod kretanja od točke do točke zanemariva je putanja, ali važno je pozicioniranje. Točkasto zavarivanje primjer je navedenog načina. Kod kontinuiranog gibanja do izražaja dolazi trajektorija i točnost pozicioniranja. Primjer uporabe kontinuiranog gibanja po putanji jest lijepljenje. [7]

3. Utjecaj automatizacije na ekonomiju

Inovacije u proizvodnji, kao što je automatizacija glavni su razlog ostvarivanja poslovnih uspjeha. Automatizacija smanjuje potrebu za ljudskim resursima u procesu proizvodnje, zbog čega trendovi potražnje za robotima u proizvodnji u rastu posljednjih 25 godina. Na slici 9. vidljiv je porast gustoće robota diljem svijeta. Za primjer, u Europskoj je uniji od 1993. kada je gustoća iznosila 0,5 dosegla godine 2017. vrijednost nešto ispod 2,0. [8]



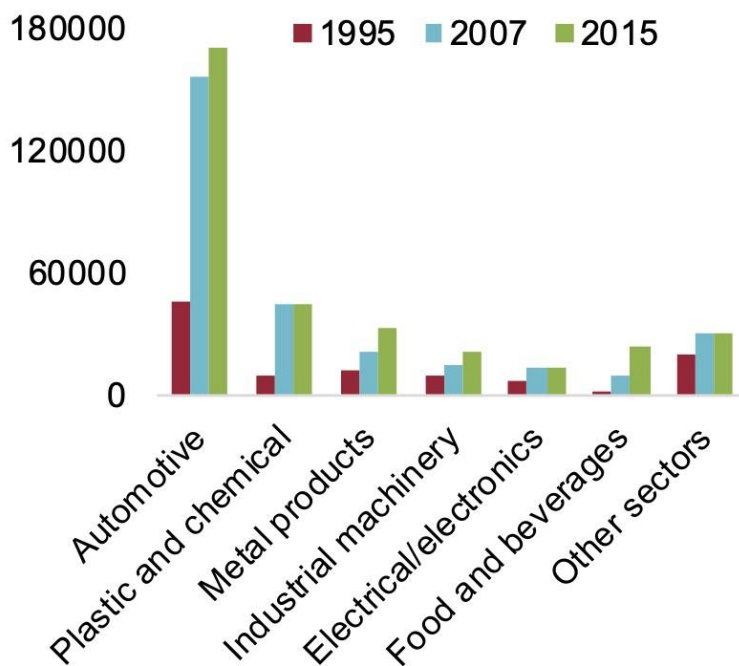
Slika 9. Gustoća robota u industriju tijekom razdoblja od 1993. do 2015. godine. Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf



Slika 10. Broj instaliranih robota u milijunima tijekom razdoblja od 2007. do 2017. godine. Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>

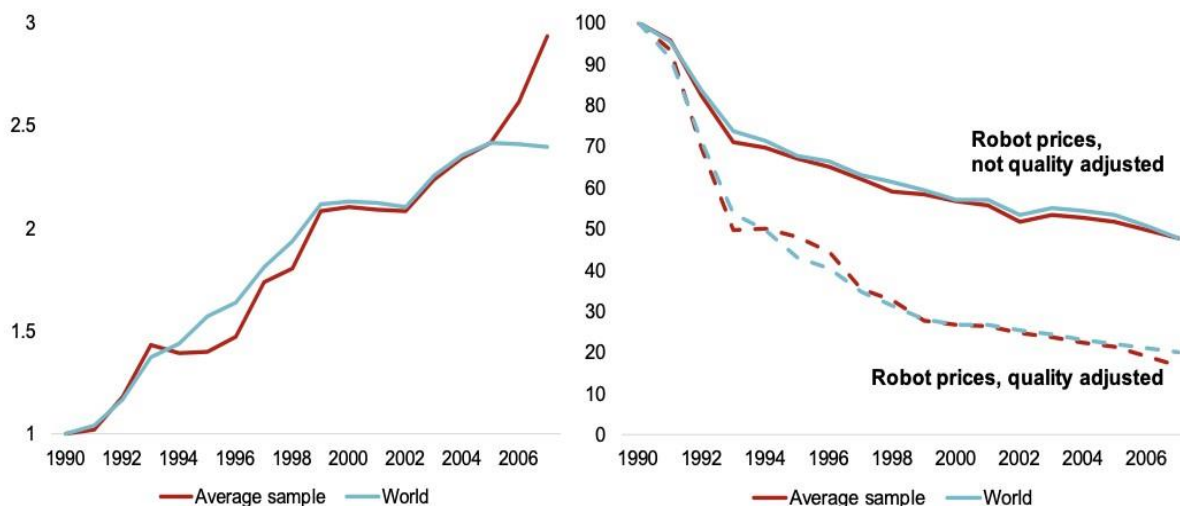
Na slici 10. prikazan je broj instaliranih robota u svijetu. Prema podacima IRF-a za gustoću robota, koja se računa kao omjer industrijskih robota na 10.000 zaposlenika, vidljivo je da Kina prednjači s najviše instaliranih robota što je i očekivano s obzirom na broj radno sposobnog stanovništva. Južna Koreja ima najveću gustoću, slijedi Singapur, Njemačka i Japan koji zatvara krug od pet zemalja. [9]

Prema podacima IFR-a, gotovo svi roboti u Europi dio su proizvodnih procesa, točnije njih 99% od ukupnog broja. Automobilska industrija prednjači u implementaciji robota, a nakon nje slijede plastična i kemijska, metalna, strojna, električna/elektronička i prehrambena. Podaci su vidljivi na slici 11. Najveći rast u implementaciji robota po zemljama tijekom razdoblja od 1995. do 2015. imale su Njemačka, Italija i Švedska. Razlog je jačanje automobilske industrije u navedenim zemljama. Godine 1995., Njemačka je imala jedan i pol robot na tisuću radnika, a taj broj do 2015. narastao je na gotovo pet robota. [8]



Slika 11. Broj postavljenih robota po sektorima industrije u EU tijekom razdoblja od 2007. do 2015. godine.
Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

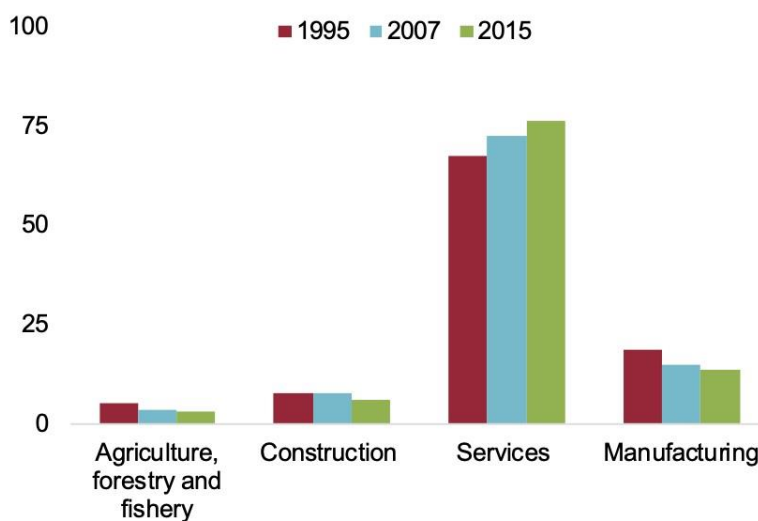
Razlog ekspanzije robota može se pripisati tehnologiji koja je unaprijedila robote. Oni su postali sve kvalitetniji te je njihova cijena zbog mas-proizvodnje naglo pala. Procjena istraživanja [8] jest ta da je kvaliteta robota od 1990. do 2006. utrostručena dok je cijena ukoliko se priključi rast kvalitete opala za 80%. Na slici 12., lijevo prikazan je graf kretanja omjera kvalitete po godini, a desno kretanje cijene robota bez i s uključenom varijablom kvalitete. Crvena linija prikazuje uzorak država Europske unije.



Slika 12. Lijevi graf - rast kvalitete robota, desni graf – pad cijene robota.

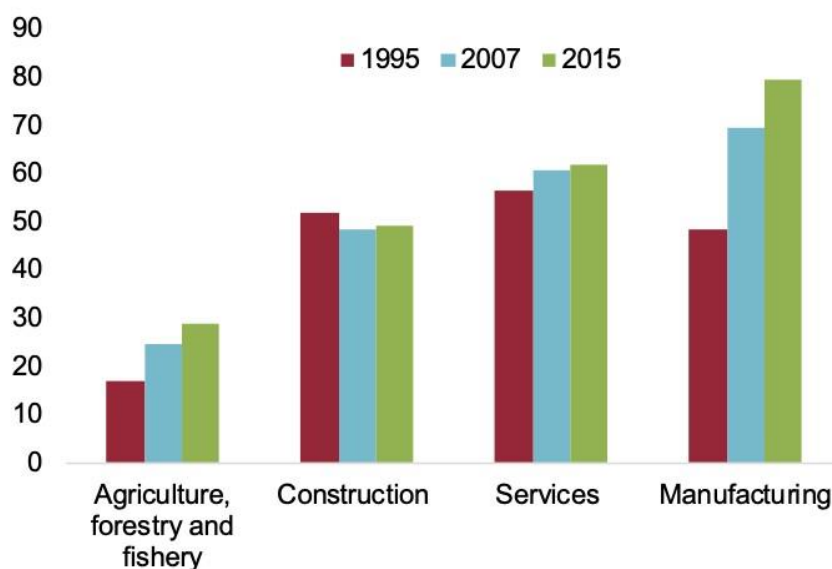
Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

Tehnološki napredak donio je zamjenu robota za ljudskom snagom u poslovima koji su skuplji ili manje učinkoviti. S druge strane uspješnost ili povećana produktivnost određenog sektora donosi rast istog. Na slici 13. vidljivo je kako je udio zaposlenih u EU tijekom razdoblja od 1995. do 2015. u sektoru proizvodnje pao za par postotnih bodova, dok je u uslužnim djelatnostima narastao za desetak postotnih bodova te je jasno vidljiva korelacija između robota i sektora u kojima se koriste. Iako postoji trend smanjenja ljudi u sektoru proizvodnje, kompanije koje se bave proizvodnjom bilježe rast produktivnosti njihovog kadra. Proizvodnja je doživjela najveći rast u polju dodane vrijednosti, vrijednosti kojoj proizvodni proces pridonosi dobru. Lijeva os na slici 14. predstavlja vrijednost 1.000 eura po zaposleniku.



Slika 13. Udio zaposlenih u odnosu na sektor zaposlenja u EU. S lijeva na desno: poljoprivreda, šumarstvo i ribarstvo; građevina; uslužne djelatnosti; proizvodnja.

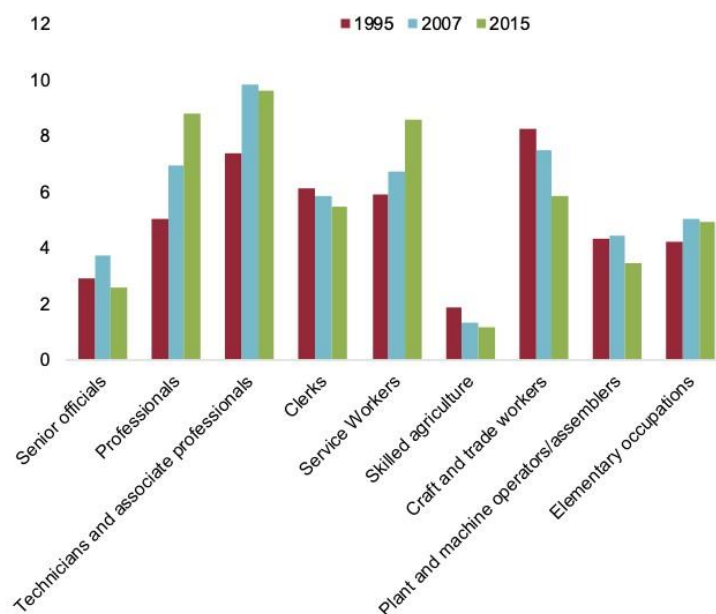
Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf



Slika 14. Odnos dodane vrijednosti po radniku i sektoru zaposlenja u EU, poredak isti kao na slici 13.

Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

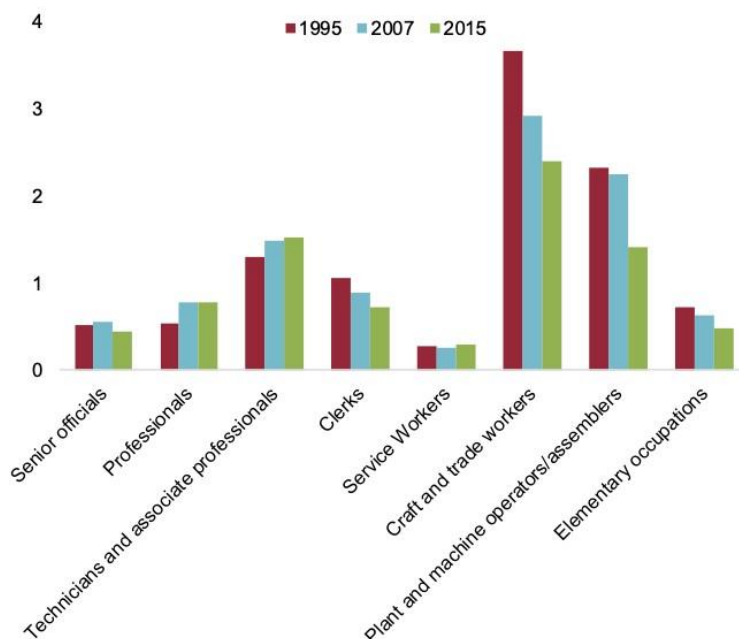
Dublje predočenje stanja u ekonomiji i sektoru proizvodnje donosi nam graf udjela zaposlenosti po radnim grupama na slici 15. na čijoj donjoj osi redom s lijeva na desno poredani su: visoki dužnosnici, profesionalci, tehničari, činovnici, službenici, uslužni radnici, rukovatelji poljoprivrednih strojeva, obrtnici i trgovci, pogonski operateri te naposljetku nekvalificirana zanimanja.



Slika 15. Udio zaposlenika po radnim grupama čitavog gospodarstva EU.

Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

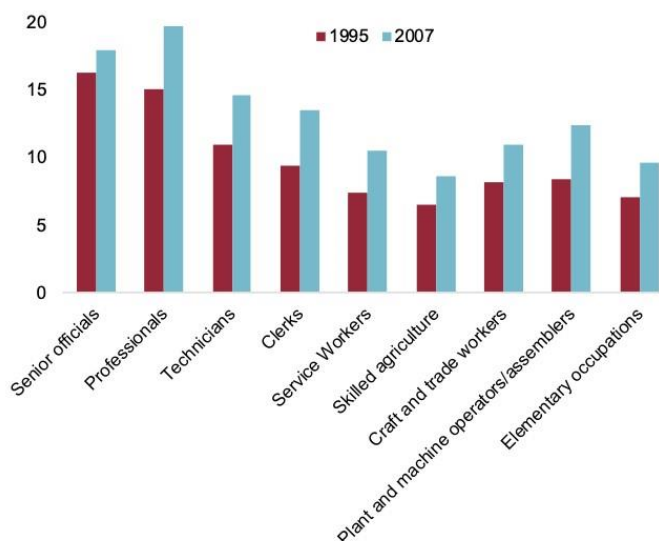
Vidljivo je kako rast na razini Europske ekonomije najveći je u sektoru profesionalaca te uslužnih djelatnika, dok broj obrtnika i trgovaca opada. Kako bi dobili dojam povezanosti sa automatizacijom, slijedi graf na slici 16. koji prikazuje raspodjelu zaposlenih u sektoru proizvodnje. Raspored po donjoj osi je isti kao na prethodnoj slici.



Slika 16. Udio zaposlenika po radnim grupama unutar industrije EU.

Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

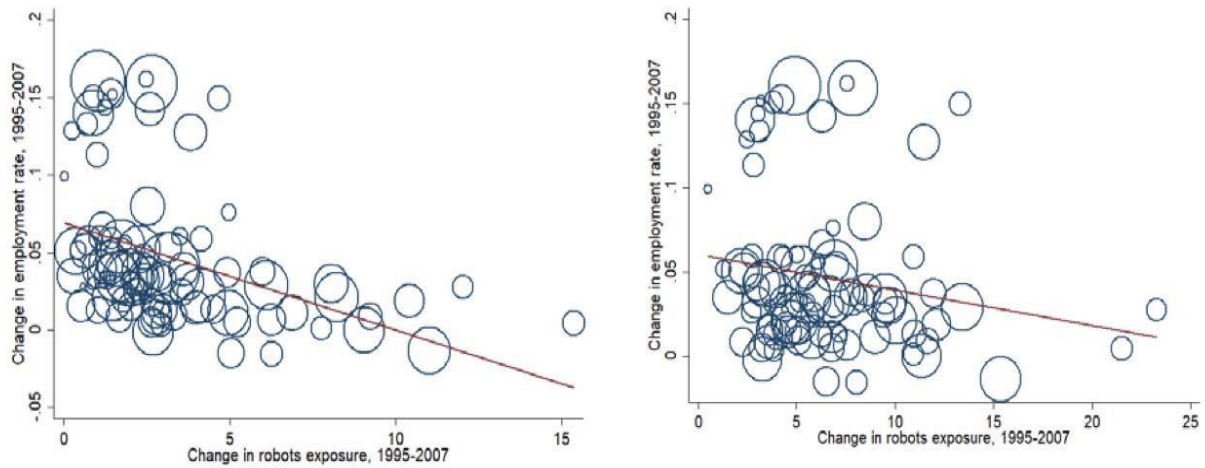
Na slici 17. imamo odnos plaća zaposlenika između 1995. i 2007. Zbog tehnološkog napretka jasno je vidljivo kako su rukovatelji poljoprivrednih strojeva doživjeli jedan od najvećih rasta plaće po radnom satu u eurima tijekom navedenog razdoblja. Raspored radnih grupa po donjoj osi je isti kao i na prethodnim dvama slikama.



Slika 17. Kretanje plaća po radnim grupama unutar industrije EU.

Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

Prema istraživanju provedenom [8] prisustvo robota negativno utječe na stopu zaposlenosti te isto tako negativno utječe i na plaće. Na slici 18. prikazana su dva grafa: lijevi prikazuje utjecaj prisustva robota na stopu zaposlenosti u ukupnoj ekonomiji, a desni prikazuje isto samo usko vezano za industriju. Lijeva os predstavlja promjenu u stopi zaposlenosti, a donja promjenu u prisustvu robota u razdoblju od 1995. do 2007. u EU. [8]



Slika 18. Grafovi promjene stope zaposlenosti u odnosu na prisustvo robota.

Izvor: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf

4. Utjecaj automatizacije na produktivnost

Američki odjel za trgovinu proveo je istraživanje [9] uvođenja automatizacije na produktivnost u dvadeset i šest zemalja. Pretežito su to države Europske unije, uz Japan i SAD. Na sličan je način Europska komisija u svojem izvješću [10] prikazala rezultate utjecaja robotike na Europsku ekonomiju. U nastavku ovog poglavlja predstavljeni su rezultati i osvrti na dvije studije.

Istraživanje [9] podjelo je po razinama implementatore automatizacije. Razine su prikazane u tablici 1 ispod.

Tablica 1. Podjela razina industrija u implementaciji robota.
Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>

| Razina | Popis industrija |
|----------------|---|
| Niska razina | Poljoprivredna, Drvna, Ribarska, Rudarska, Tekstilna |
| Srednja razina | Građevinska, obrazovna, komunalna |
| Visoka razina | Automobilska/Transportna, Kemijska, Prehrambena, Metalna, Elektronička, Papirna |

Sljedeća tablica (tab. 2.) prikazuje promjene uvođenja automatizacije u postotcima na produktivnost, dodanu vrijednost i radne sate po razinama navedenim u tablici prije.

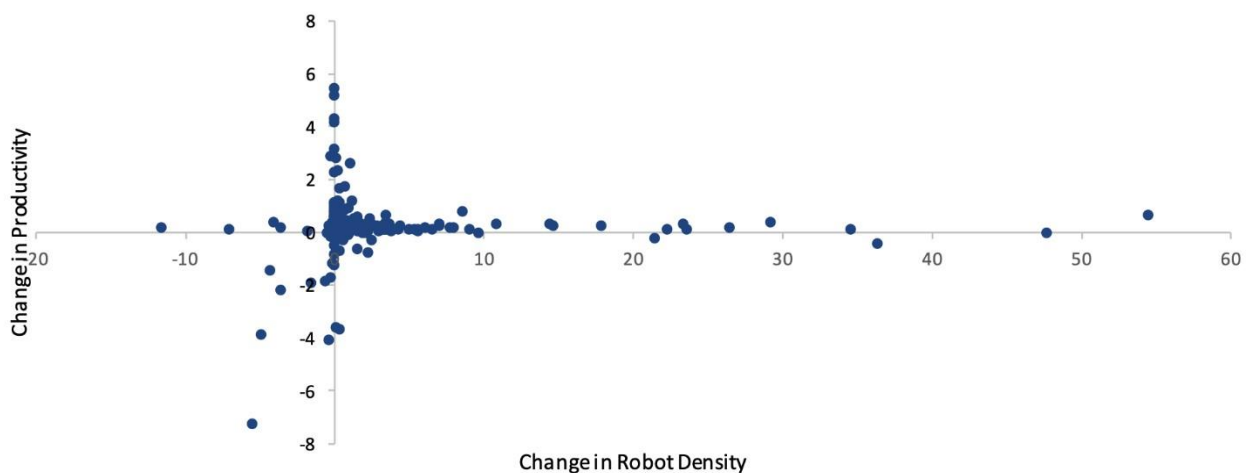
Tablica 2. Promjene prilikom uvođenja robota na produktivnost, dodanu vrijednost i radne sate.
Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>

| | Promjena produktivnosti | Promjena u dodanoj vrijednosti | Promjena u radnim satima |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Gustoća industrijskih robota | + 0.8% | - 0.3% | -1 % |
| Gustoća ind. robota u niskoj razini | 5 % | 2 % | - 2.6% |
| Gustoća ind. robota u srednjoj razini | + 0.8% | - 0.8% | - 0.3% |
| Gustoća ind. robota u visokoj razini | + 0.5% | 0 % | - 0.3% |

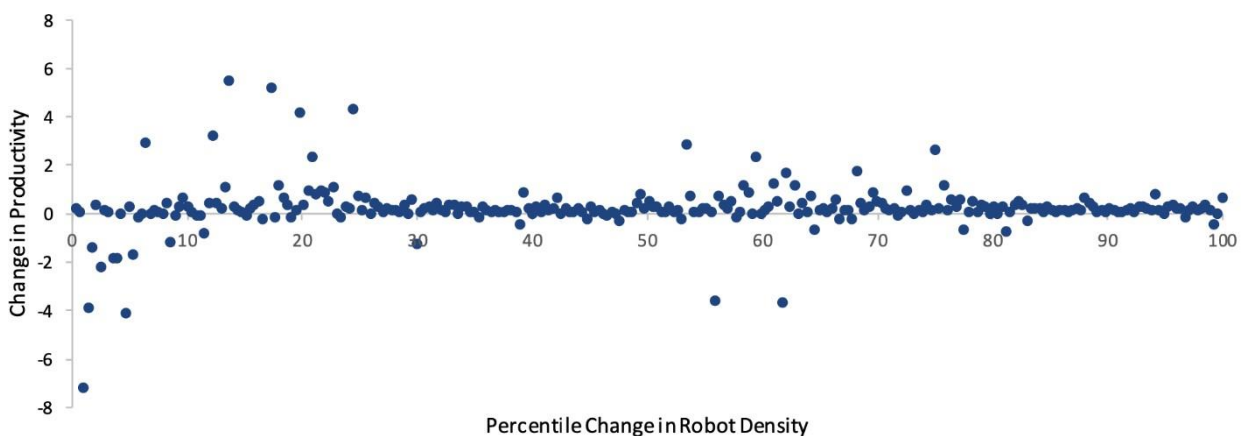
Uvođenje industrijskih robota potiče rast produktivnosti te rasta industrija diljem svijeta. Rezultati predstavljeni u prošlim dvjema tablicama potvrđuju navedenu tezu. Točnije, porast gustoće industrijskih robota povezan je s porastom od 0,8% na ukupnu svjetsku ekonomiju. Ovaj rast je povezan ponajviše uz obrazovni sustav, građevinsku industriju, komunalne usluge, tekstilnu proizvodnju te za nisku razinu implementatora gdje je porast od jednog postotnog boda u gustoći

robova doveo do porasta produktivnosti od 5%. Najveći porast produktivnosti zabilježile su industrije koje sporijim tempom uvode automatizaciju dok su industrije sa najvećom gustoćom zabilježile nastavak rasta produktivnosti.

Studija [9] obradila je podatke IFR-a te EUKLEMS-a u razdoblju od 2003. do 2017. koji su predstavljeni na slikama 19. - 22. u nastavku. Produktivnost predstavlja izlazni rezultat jedinice rada te je izračunata kao omjer rasta dodane vrijednosti po rastu sati. Promjena u produktivnosti predstavlja omjer vrijednosti iz 2017. s 2003. godinom. Gustoća robota nezavisna je varijabla koja se koristi kako bi dala rezultat studije te može biti predstavljena kao postotna promjena ili jedinična promjena pa je u ovoj studiji računata kao broj industrijskih robota po milijun odrađenih radnih sati. Promjene u gustoći su relativno manje tako da je trend jasnije uočljiv i prikazan na grafu koji prikazuje gustoću robota kao postotnu promjenu.

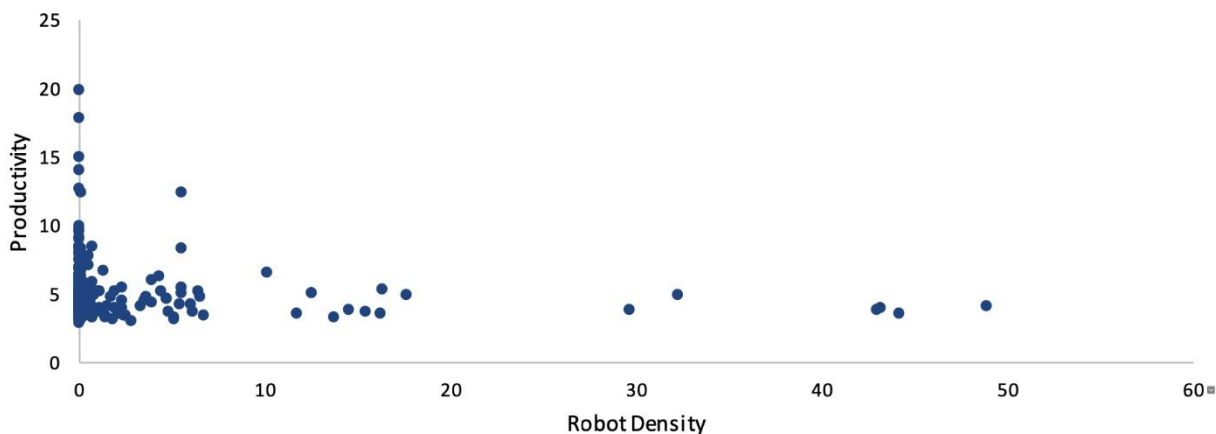


Slika 19. Prikaz promjene produktivnosti u ovisnosti o jediničnoj promjeni gustoće robota.
Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>



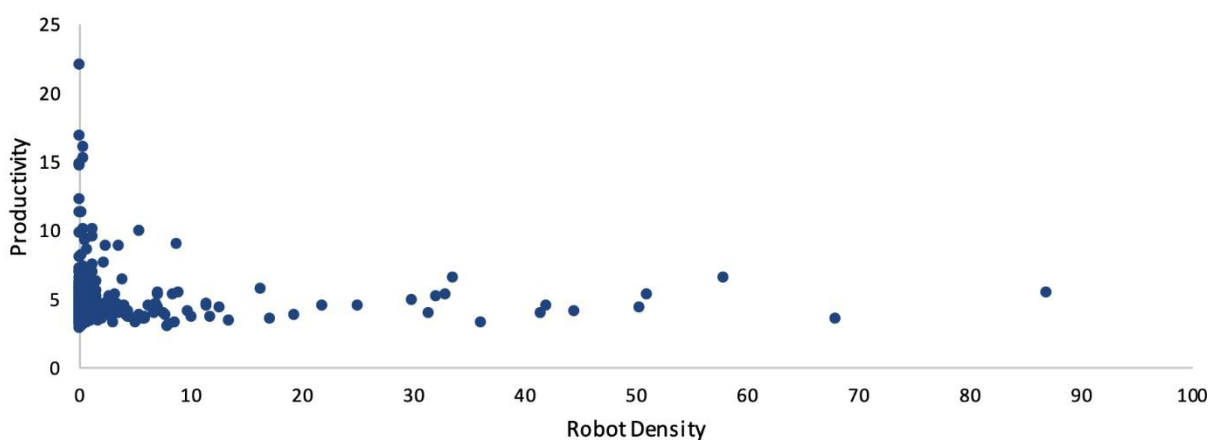
Slika 20. Prikaz postotne promjene produktivnosti u ovisnosti o postotnoj promjeni gustoće robota.
Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>

Za usporedbu s prikazanim grafovima mogu se prikazati i rezultati za pojedine godine 2003. i 2017. kao početne i krajnje točke studije:



Slika 21. Prikaz produktivnosti u ovisnosti o gustoći robota 2003. godine.

Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>



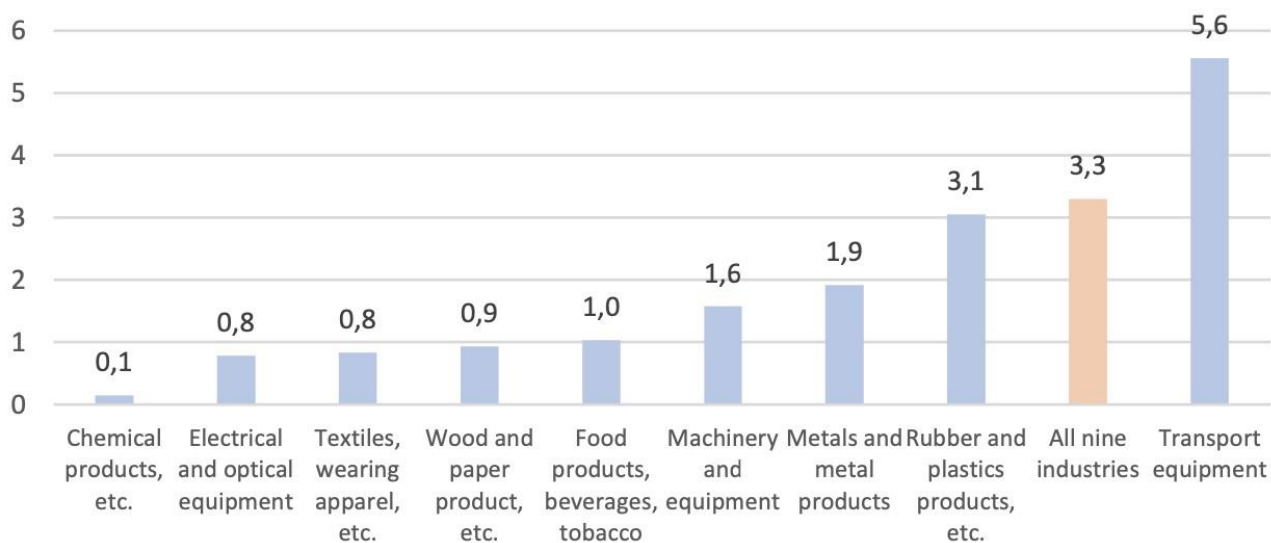
Slika 22. Prikaz produktivnosti u ovisnosti o gustoći robota 2017. godine.

Izvor: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>

Prema istraživanju Europske komisije [10] navedeno je kako tehnološke promjene direktno utječu na koeficijent produktivnosti te se svaki rast vrijednosti koji nema veze sa kapitalom ili radom može pripisati tehnološkim procesima.

Prema tehničkom izvješću JRC-a, [11] tijekom razdoblja od 1993. do 2015. na prostoru Europe, pojava automatizacije dovela je do rasta produktivnosti rada, točnije u kapitalnim ulaganjima koji nisu ICT-ovi ona je dovela do rasta od 3,3%. Naravno, pozitivan efekt produktivnosti raspodijeljen tako što industrije s najvećom gustoćom robota imaju istaknutiji rast. Najmanji rast imaju industrije koje se bave elektrikom, tekstilom i papirom dok značajniji rast u navedenom razdoblju imaju plastična, metalna te transportna kao što je vidljivo na slici 23.

Increase of labour productivity (in %)



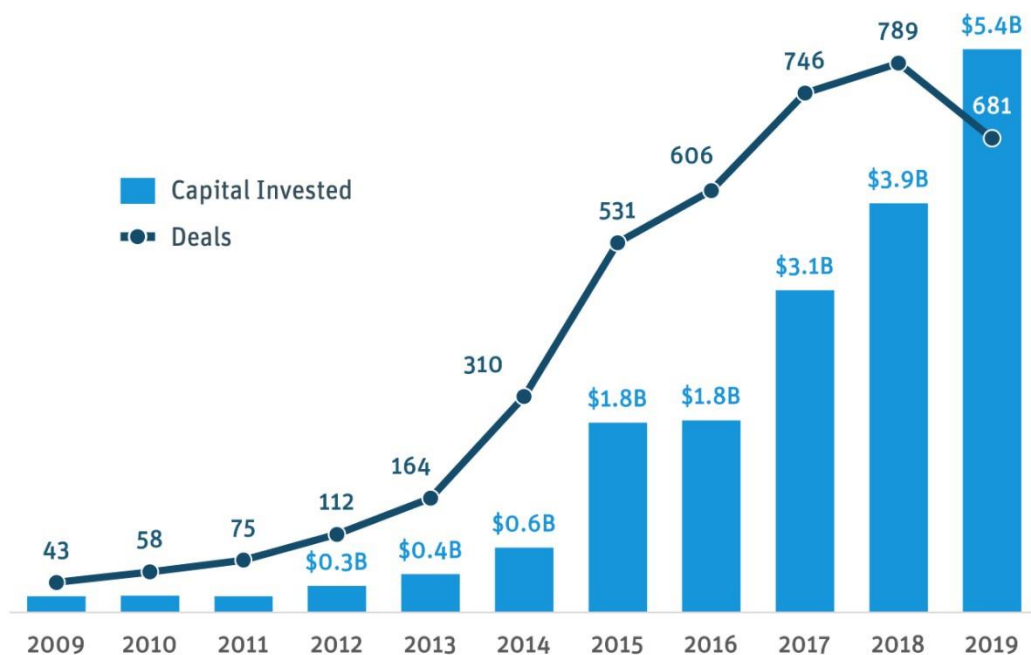
Slika 23. Rast produktivnosti rada tijekom razdoblja od 1993. do 2015. Stupci slijeva nadesno su: kemijski proizvodi i sl.; električna i optička oprema; tekstil, odjevni predmeti i sl.; drveni i papirnati proizvodi; prehrambeni proizvodi, pića, duhan; strojevi i oprema za njih; metali i metalni proizvodi; gumeni i plastični proizvodi; svih devet industrija; oprema za prijevoz.

Izvor: https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc121953_policy_brief_the_impact_of_industrial_robots_on_the_eu_economy.pdf

5. Budući razvoj robotike

Pred nama je peta generacija robota koja donosi inovacije u profesionalnim i osobnim zahtjevima. Drugim riječima, pred nama je četvrta industrijska revolucija u kojoj se očekuje kako će roboti imati veliki značaj u objedinjavanju industrije, ali i radu sa obradom podataka.

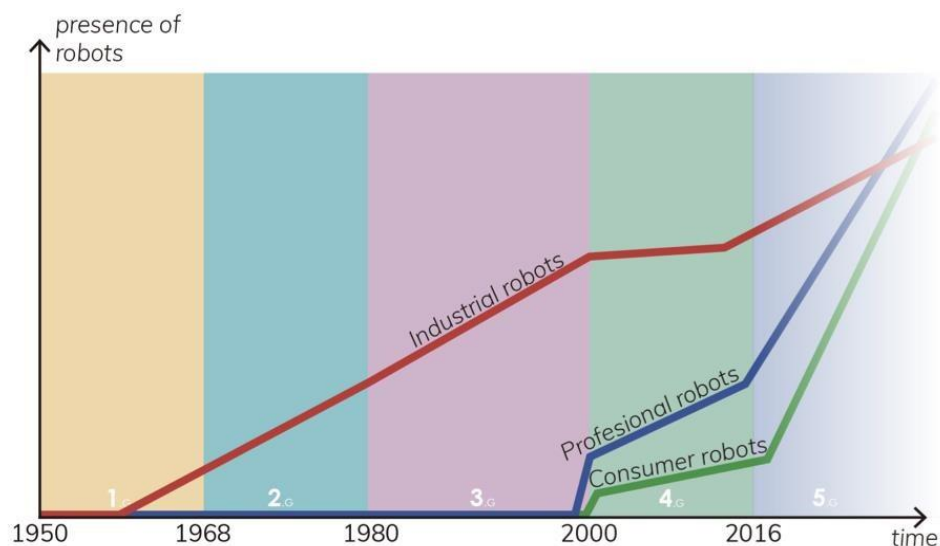
S obzirom na ulaganja u robotiku jasno je kako će robotika nastaviti svoj rast u proizvodnji dobara. U 2019. samo u prvom kvartalu iznos ulaganja u robotiku iznostio je dvije milijarde američkih dolara (sl. 24.).



Slika 24. Globalno kretanje ulaganja u robotiku.

https://www.svb.com/contentassets/ef7d4479921043c2a9d18a592649c659/future-of-robotics_svb-sectorreport-2020.pdf

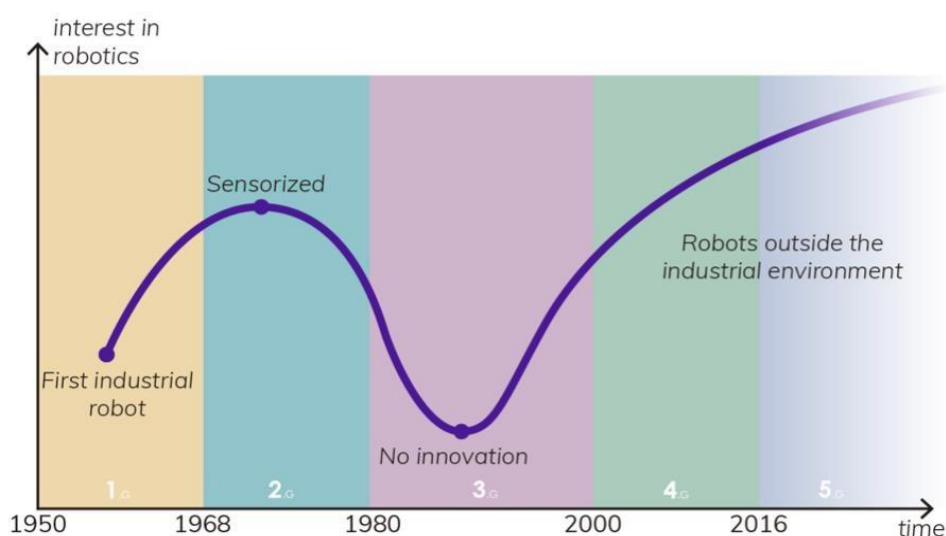
Studija [4] vršila je pretpostavku budućeg razvoja robotike te rezultati (sl. 25.) izgledaju tako da će rast implementacije robotike u industriji nastaviti tempom kao što je bio i do sada, dok eksponencijalni rast u uporabi doživljavaju profesionalni roboti koji predstavljaju robote za obavljanje specifične situacije (npr. robot specijaliziran za operacije - sl. 8., vojna pomagala - sl. 27., dostavni roboti - sl. 28., robot za rehabilitacije – sl. 29. itd.) [12] te osobni roboti koji služe za svakodnevne zadatke, kao pomagatelji ili kao zabavni alati.



Slika 25. Prikaz i predviđanje raspodjele robota (industrijskih, profesionalnih i osobnih) od 1950. prema budućnosti.

Izvor: <https://arxiv.org/pdf/1704.08617.pdf>

Kao što je navedeno u drugom poglavlju, jasno se vidi kako je u razdoblju treće generacije robota zanimanje za iste bilo relativno malo što zbog cijene, što zbog nedostataka inovacija (sl. 26.). Razvoj tehnologije omogućio je širenje robota u druga područja djelovanja. Godinu 2000. možemo označiti kao prekretnicu robotskih generacija, ali i kao prekretnicu u pojavi robota za druge svrhe osim proizvodne, odnosno industrijske. Svjedoci smo kako su roboti ušli i u sferu dostave, nadomak su autonomne vožnje te je razvoj sve više usmjeren na osobne primjene kao pomagalo u svakodnevnom životu te na profesionalne usluge na područjima opasnim za čovjeka ili sa svrhom bržeg obavljanja posla.



Slika 26. Prikaz i predviđanje razine potražnje za robotima u razdoblju od 1950. prema budućnosti.

Izvor: <https://arxiv.org/pdf/1704.08617.pdf>



Slika 27. Robot u obliku psa kao vojno pomagalo.

Izvor: https://images.newscientist.com/wp-content/uploads/2020/12/03135041/200901-f-wj663-0025_web.jpg

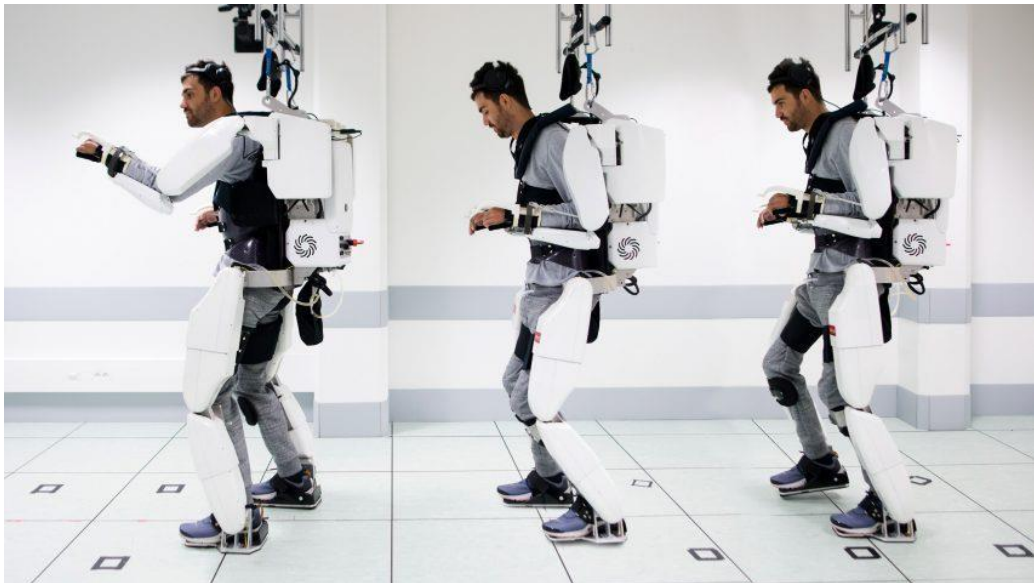


Slika 28. Dostavni robot – dron.

Izvor: [Commercial-drone-delivery-mobile-order-food.jpg \(1000x667\) \(pymnts.com\)](#)

U studiji [4] predviđanja za robotiku kroz idućih 20 godina danas izgledaju ovako:

- Razvoj robota asistenta
- Razvoj pametnih tvornica
- Razvoj medicinskih robota i robotskih pomagala; jedan od primjera robotskog pomagala, a spada u 5.generaciju robota, jest Exoskeleton prikazan na slici 29. ispod.



Slika 29. Robotsko pomagalo Exoskeleton s mogućnošću pružanja potpore i zaštite ljudskom tijelu tijekom kretanja.

Izvor: https://static.dezeen.com/uploads/2019/10/exoskeleton-clinatec-technology_dezeen_2364_hero-852x479.jpg

6. Zaključak

Prema rezultatima predstavljenim u radu trend porasti automatizacije na globalnoj razini donio je povećanje radne produktivnosti. U Europi porast produktivnosti može se podijeliti na transportnu industriju u kojoj porast iznosi 5,6% te sve ostale industrije u kojima je rast od 3,3% u razdoblju od 1993. do 2015. Porast produktivnosti ovisi o raspodjeli poslova, plaćama, dodanoj vrijednosti, ali i gustoći robota. Veliko povećanje automatizacije te pretjerivanje s uvođenjem robota u proizvodnji neće naglo promijeniti produktivnost s obzirom da industrije koje imaju veću gustoću robota sporije bilježe rast produktivnosti, kao što su industrije s visokom razinom implementacije, koje globalno imaju rast od 0,5% za razliku od industrija koje tek uvode automatizacijske procese kod kojih rast produktivnosti iznosi 5%. Rezultati studija se razlikuju zbog različitog definiranja gustoće robota, ali i područja koje obuhvaća. Porast produktivnosti, a samim time i gustoće robota u industriji doveo je do smanjenja radnih sati, ali i povećanja dodane vrijednosti. Uvođenje automatizacije dovelo je do rasta plaća na globalnoj razini u svim grupama poslova, ponajviše u srednjim razinama poslova, ali važno je za napomenuti kako broj zaposlenih opada u poslovima koje roboti mogu zamjeniti ljude dok je broj u poslovima koji se bave rukovanjem i osposobljavanjem robota u stalnom porastu. Iz priloženog dolazi se do zaključka kako uvođenje automatizacije neće oduzeti posao ljudima već će stvoriti potrebu za drugim oblicima poslova u kojima će se ljudi pronaći te je taj trend vidljiv u broju radnika u uslužnim djelatnostima gdje roboti nisu u tolikoj mjeri implementirani.

7. Literatura

- [1] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, »Robotika,« Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. [Mrežno]. Available: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=53102>. [Pokušaj pristupa 7 9 2021].
- [2] UCG, »Aktuatori, prezentacija na stranici Univerziteta Crne Gore,« [Mrežno]. Available: https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_8554/objava_30673/fajlovi/aktuatori.pdf. [Pokušaj pristupa 14 9 2021].
- [3] L. Scalera, »A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century,« *Advances in Historical Studies*, svez. 8, br. 1, pp. 24-35, 2019.
- [4] I. Zamalloa, R. Kojcev i A. Hernandez, »Dissecting Robotics — historical overview and,« *Acutronic Robotics*, pp. 1-9, 2017.
- [5] T. Pavlic, »Osnove robotike, predavanje. Visoka tehnička škola u Bjelovaru,« [Mrežno]. Available: https://vub.hr/images/uploads/3314/podjela_robotike__industrijska_i_mobilna_robotika.pdf. [Pokušaj pristupa 7 9 2021].
- [6] H. Brezak, »Bez naslova: rad opisuje proces projektiranja i izrade četveronožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima te postignute rezultate,« 2014. [Mrežno]. Available: http://repositorij.fsb.hr/2686/1/28_02_2014_Hrvoje_Brezak.pdf. [Pokušaj pristupa 7 9 2021].
- [7] Z. Kovačić, S. Bogdan i V. Krajči, *Osnove robotike*, Zagreb: Graphis, 2001.
- [8] F. Chiacchio, G. Petropoulos i D. Pichler, »The impact of industrial robots on EU employment and wages: A local labour market approach. Link: https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper-AB_25042018.pdf,« *Bruegel working paper*, issue 2, 18 4 2018.
- [9] K. Mazacheck, »Robots and the Economy: The Role of Automation in Driving Productivity Growth. Link: <https://www.selectusa.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=015t0000000kyXN>,« *SelectUSA*, 2020.
- [10] S. T. Perez, D. Klenert, R. Marschinski, E. Fernandez-Macias i I. G. Vazquez, »The impact of industrial robots on EU economy,« *The European Commission's science and knowledge service*. Link: https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc121953_policy_brief_the_impact_of_industrial_robots_on_the_eu_economy.pdf, 2020.
- [11] A. P. A. Jungmittag, »The impacts of robots on labour productivity: a panel data approach covering 9 industries and 12 countries,« *Joint Research Centre, The European Commission's science and knowledge service*. Link: <https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc118044.pdf>, Seville, 2019.
- [12] »International Federation of Robotics: classification of service robots by application areas,« [Mrežno]. Available: https://ifr.org/img/office/Service_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf. [Pokušaj pristupa 7 9 2021].

8. Popis slika i tablica

- Sl. 1. Izgled nacrtu patenta za programabilni prijenos objekata.
- Sl. 2. Robot Unimate.
- Sl. 3. Robot Versatran.
- Sl. 4. Robot PUMA.
- Sl. 5. Robot IRB, serija 6000.
- Sl. 6. Robot AdeptOne SCARA, proizveden 1984.
- Sl. 7. Nacrt robota Delta iz ranih 1980-ih.
- Sl. 8. Robot AdeptOne SCARA, proizveden 1984.
- Sl. 9. Gustoća robota u industriju tijekom razdoblja od 1993. do 2015. godine.
- Sl. 10. Broj instaliranih robota u milijunima tijekom razdoblja od 2007. do 2017. godine.
- Sl. 11. Broj postavljenih robota po sektorima industrije u EU tijekom razdoblja od 2007. do 2015. godine.
- Sl. 12. Lijevi graf - rast kvalitete robota, desni graf – pad cijene robota.
- Sl. 13. Udio zaposlenih u odnosu na sektor zaposlenja u EU. S lijeva na desno: poljoprivreda, šumarstvo i ribarstvo; građevina; uslužne djelatnosti; proizvodnja.
- Sl. 14. Odnos dodane vrijednosti po radniku i sektoru zaposlenja u EU, poredak isti kao na slici 13.
- Sl. 15. Udio zaposlenika po radnim grupama čitavog gospodarstva EU.
- Sl. 16. Udio zaposlenika po radnim grupama unutar industrije EU.
- Sl. 17. Slika 17. Kretanje plaća po radnim grupama unutar industrije EU.
- Sl. 18. Slika 18. Grafovi promjene stope zaposlenosti u odnosu na prisustvo robota.
- Sl. 19. Prikaz promjene produktivnosti u ovisnosti o jediničnoj promjeni gustoće robota.
- Sl. 20. Prikaz postotne promjene produktivnosti u ovisnosti o postotnoj promjeni gustoće robota.
- Sl. 21. Prikaz produktivnosti u ovisnosti o gustoći robota 2003. godine.
- Sl. 22. Prikaz produktivnosti u ovisnosti o gustoći robota 2017. godine.
- Sl. 23. Rast produktivnosti rada tijekom razdoblja od 1993. do 2015. Stupci slijeva nadesno su: kemijski proizvodi i sl.; električna i optička oprema; tekstil, odjevni predmeti i sl.; drveni i papirnati proizvodi; prehrambeni proizvodi, pića, duhan; strojevi i oprema za njih; metali i metalni proizvodi; gumeni i plastični proizvodi; svih devet industrija; oprema za prijevoz.
- Sl. 24. Globalno kretanje ulaganja u robotiku.
- Sl. 25. Prikaz i predviđanje raspodjele robota (industrijskih, profesionalnih i osobnih) od 1950. prema budućnosti.
- Sl. 26. Prikaz i predviđanje razine potražnje za robotima u razdoblju od 1950. prema budućnosti.
- Sl. 27. Robot u obliku psa kao vojno pomagalo.
- Sl. 28. Dostavni robot – dron.
- Sl. 29. Robotsko pomagalo Exoskeleton s mogućnošću pružanja potpore i zaštite ljudskom tijelu tijekom kretanja.

Tab. 1. Podjela razina industrija u implementaciji robota.

Tab. 2. Promjene prilikom uvođenja robota na produktivnost, dodanu vrijednost i radne sate.