

# Analiza mogućnosti implementacije sustava temeljenih na konceptu Industrije 4.0

---

**Zubonja, Mihael**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:726308>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-28**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Mihael Zubonja**

Zagreb, 2022. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Cajner, dipl. ing.

Student:

Mihael Zubonja

Zagreb, 2022. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Izv. prof. dr. sc. Hrvoju Cajneru na pomoći, susretljivosti i strpljivosti prilikom pisanja ovog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji, djevojci i prijateljima na podršci tijekom dosadašnjeg studiranja.

Mihael Zubonja



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: <b>602 – 04 / 22 – 6 / 1</b>	
Ur.broj: <b>15 - 1703 - 22 -</b>	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mihael Zubonja** JMBAG: **0035214205**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza mogućnosti implementacije sustava temeljenih na konceptu Industrije 4.0**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The analysis of implementation of Industry 4.0 based systems**

Opis zadatka:

Proizvodni procesi su značajnim dijelom uvjetovani postojećim proizvodnim sustavima te su stoga i djelomično ograničeni po pitanju mogućnosti značajnijeg unaprjeđenja. Suvremena rješenja bazirana na konceptu Industrije 4.0 daju veću fleksibilnost pri modifikaciji samih procesa. Pretpostavka za unaprjeđenje jest integracija informacijskih sustava za praćenje proizvodnje kao što su npr. ERP, MRP, a posebice MES sustav. Implementacijom takvih sustava omogućava se kvalitetnije praćenje putem podataka u realnom vremenu, modifikacija procesa te posljedično učinkovitije izvođenje proizvodnih operacija. Dobiveni podaci temelj su za analizu mogućnosti implementacije ostalih komponenti poput automatizacije i robotizacije dijela procesa.

U radu je potrebno:

- Dati sažetak sustava za planiranje i praćenje proizvodnje.
- Analizirati postojeća tehnološka rješenja temeljena na konceptu Industrije 4.0.
- Na dostupnom primjeru analizirati postojeće stanje koristeći se statističkim metodama analize podataka o vremenima aktivnosti, produktivnosti i udjelu nesukladnosti.
- Razraditi jednostavni simulacijski model za različite varijante rješenja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Čajner

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
 2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
 3. rok: 22. 9. 2022.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
 2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
 3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
2. RAZINE UPRAVLJANJA I PRIPADAJUĆI INFORMACIJSKI SUSTAVI.....	2
2.1. ERP SUSTAVI .....	3
2.2. MRP SUSTAVI .....	5
2.3. MES .....	8
3. POSTOJEĆA TEHNOLOŠKA RJEŠENJA BAZIRANA NA KONCEPTU INDUSTRIJE 4.0 .....	11
3.1. ERP SUSTAVI .....	11
3.2. ROBOTIZACIJA .....	17
3.3. OSJETNICI.....	20
3.4. PAMETNE TVORNICE.....	23
4. ANALIZA PRIMJERA .....	26
4.1. TOK MATERIJALA I PROSTORNI RASPORED PROIZVODNOG POGONA .	27
4.2. ANALIZA VREMENA .....	29
4.3. POTENCIJAL I MOGUĆA RJEŠENJA ZA POBOLJŠANJE PROCESA .....	39
4.3.1. Simulacija novog stanja .....	43
5. ZAKLJUČAK.....	47
LITERATURA.....	48
PRILOZI.....	50

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Automatizacijska piramida [1] .....	2
Slika 2.	Aplikacije unutar ERP sustava [2] .....	4
Slika 3.	Podatci potrebni za rad MRP sustava [5] .....	6
Slika 4.	MES vs ERP [7] .....	9
Slika 5.	Generalna raspodjela funkcija [4] .....	10
Slika 6.	Komparacija ERP sustava 1.dio [8] .....	13
Slika 7.	Komparacija ERP sustava 2.dio [8] .....	14
Slika 8.	Komparacija ERP sustava 3.dio [8] .....	15
Slika 9.	ABB IRB 1410 industrijski robot [12] .....	18
Slika 10.	Kolaborativni robot Mitsubishi Electric – MELFA Assista RV-5AS [13] .....	19
Slika 11.	Fotoelektrični osjetnik Banner Q45VR2 [14] .....	20
Slika 12.	Temperaturni osjetnik THERMASPARD ALTM1 – Modbus – T3 [15] .....	21
Slika 13.	Čitač barkoda Cognex DataMan 150/260 [16] .....	22
Slika 14.	Skeniranje barkodova i QR kodova [16] .....	22
Slika 15.	Robotizirana tvornica kompanije Audi [17] .....	23
Slika 16.	Boschova inovativna tvornica, Blaichach [18] .....	24
Slika 17.	Siemensova pametna tvornica [17] .....	25
Slika 18.	Tehnološki proces .....	26
Slika 19.	Tok materijala u postojećem procesu .....	27
Slika 20.	Prijedlog prostornog rasporeda i optimalni tok materijala .....	28
Slika 21.	Princip rada RFID sustava [19] .....	29
Slika 22.	Primjer trokutaste razdiobe s proizvoljno zadanim parametrima ( $a=50$ , $b=150$ , $c=90$ ) .....	31
Slika 23.	Primjer normalne s proizvoljno zadanim parametrima ( $\mu=100$ , $\sigma=12$ ) .....	31
Slika 24.	Normalna razdioba operacije transporta .....	34
Slika 25.	Trokutasta razdioba operacije Brušenje i odmašćivanje .....	34
Slika 26.	Model proizvodnog procesa u programu AnyLogic .....	35
Slika 27.	Blok funkcije mjerenja vremena u modelu .....	35
Slika 28.	Histogram trajanja operacije transporta 1 .....	36
Slika 29.	Histogram trajanja operacije transporta 13 .....	36
Slika 30.	Histogram trajanja operacije robotskog zavarivanja .....	37
Slika 31.	Histogram trajanja operacije ručnog zavarivanja .....	38
Slika 32.	Primjer automatiziranog konvejskog sustava [20] .....	40
Slika 33.	Primjer AMR vozila kompanije Gideon Brothers [22] .....	41
Slika 34.	Automatizirani proces sačmarenja [21] .....	42
Slika 35.	Hodogram implementacije rješenja .....	43
Slika 36.	Histogram trajanja operacije transporta 1 nakon implementacije rješenja .....	44
Slika 37.	Histogram trajanja operacije transporta 13 nakon implementacije rješenja .....	44
Slika 38.	Histogram trajanja operacije ručnog zavarivanja nakon implementacije rješenja .....	45
Slika 39.	Histogram vodećih vremena prije implementacije rješenja .....	46
Slika 40.	Histogram vodećih vremena nakon implementacije rješenja .....	46

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba raspoloživih funkcija MRP I, MRP II i ERP .....	7
Tablica 2. SAP vs. Oracle vs. Microsoft Dynamics [9] .....	16
Tablica 3. Prosječna vremena trajanja operacija .....	30
Tablica 4. Razdiobe i njeni parametri .....	31
Tablica 5. Izračun parametara trajanja operacija.....	32
Tablica 6. Parametri vremenskih razdioba svih operacija.....	33



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$\mu$	-	Aritmetička sredina populacije
$\sigma$	-	Standardna devijacija
a	-	Minimalna vrijednost trokutaste razdiobe
b	-	Maksimalna vrijednost trokutaste razdiobe
c	-	Najučestalija vrijednost trokutaste razdiobe (mod)

**SAŽETAK**

Uslijed svakodnevnog razvoja novih tehnologija razvijaju se i tehnologije koje se primjenjuju za efikasniju i fleksibilniju proizvodnju. S obzirom na to da se spomenute inovativnosti razvijaju u današnjem vremenu, takva rješenja nazivom rješenja bazirana na Industriji 4.0 budući da se smatra da se trenutno odvija četvrta industrijska revolucija. Osnovni koncepti četvrte industrijske revolucije su automatizacija, robotizacija i digitalizacija, a implementacijom i integracijom takvih tehnologija u proizvodni sustav teži se stvaranju pametnih tvornica koje su krajnji cilj četvrte industrijske revolucije.

U okviru ovog rada analizirat će se postojeći informacijski sustavi koji pomažu u procesu digitalizacije tvornica. Potom će se prikazati i analizirati neka od ključnih postojećih tehnoloških rješenja baziranih na konceptu Industrije 4.0. Nadalje, modelirat će se proizvodni pogon na primjeru te će se analizirati mogućnost primjene nekih rješenja. Naposljetku, iznijet će se okvirni prijedlog postupka implementacije nekih od ključnih rješenja.

Ključne riječi: Industrija 4.0, robotizacija, automatizacija, informacijski sustavi, model, implementacija

---

**SUMMARY**

Due to the everyday development of the new technologies, technologies used to make more efficient and more flexible manufacturing are developed. Given that the mentioned innovations are being invented nowadays, those solutions are called solutions based on Industry 4.0 since it is considered that the fourth industrial revolution is currently taking place. Basic concepts of the fourth industrial revolution are automatization, robotization, and digitalization. By implementing and integrating such technologies into the production systems, the aim is to create smart factories that are the final goal of the fourth industrial revolution.

Within this paper, the analysis of the existing information systems that enhance the process of digitalization will be performed. Then, some of the crucial and existing technology solutions based on the concept of Industry 4.0, will be presented and analyzed. Furthermore, the production line will be modeled referring to the example, and the possibility of the implementation of some solutions will be analyzed. Ultimately, the paper will present a framework proposal for the implementation of some of the key solutions.

Key words: Industry 4.0, robotization, automatization, informational systems, model, implementation

## **1. UVOD**

S obzirom na činjenicu da se bi se svaki proizvodni proces trebao kontinuirano unaprjeđivati, postoji interes za implementacijom svih dostupnih tehnologija i patenata koji vode ka Industriji 4.0. Nažalost, implementacija suvremenih rješenja je uvjetovana postojećim stanjem u proizvodnim pogonima te nije uvijek posve jednostavna. Bez obzira na to, tehnologija se razvija strahovitom brzinom te se hvata u koštac sa 'krutim' proizvodnim sustavima koje, uz pomoć čovjeka, pretvara u fleksibilnije proizvodne jedinice.

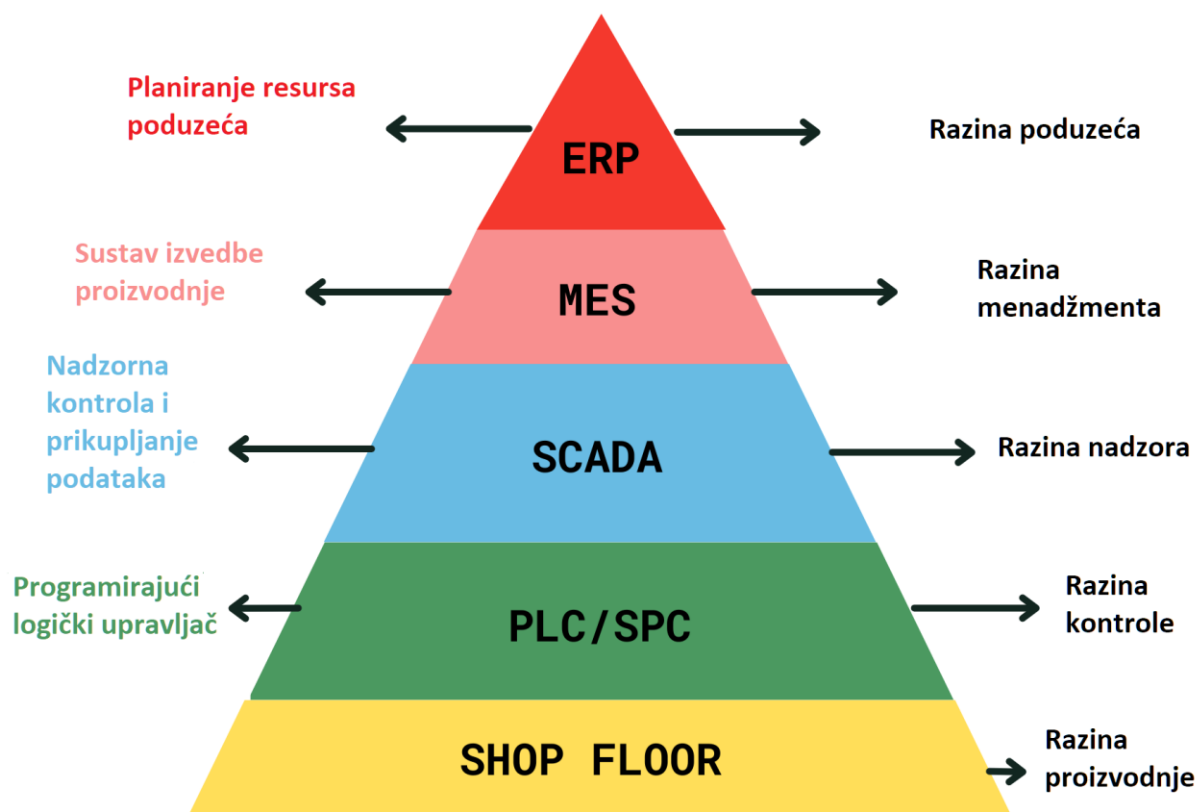
Najbitnija značajka suvremenih rješenja, baziranih na konceptima Industrije 4.0, je praćenje proizvodnje u realnom vremenu te davanje konkretnih podataka koji nisu podložni manipulacijama kao što je slučaj u manualnom procesu prikupljanja podataka. Dakle, uklanja se ljudski faktor subjektivnosti, primjerice prilikom mjerenja vremena jednog koraka u proizvodnom procesu.

Nadalje, uz tzv. digitalizaciju sustava koji omogućavaju prethodno spomenuto, bitni pojmovi koji se pojavljuju su automatizacija i robotizacija proizvodnih procesa. Uz neupitno povećanje produktivnosti i efikasnosti procesa, jedna od negativnih posljedica koji se pojavljuju u tom slučaju je gubitak radnih mjesta za osobe koje rade u proizvodnoj industriji. Međutim, to nije tema ovoga rada, već će se dati analiza mogućnosti implementacije nekih od suvremenih rješenja vezanih za integraciju informacijskih sustava za praćenje proizvodnje.

## 2. RAZINE UPRAVLJANJA I PRIPADAJUĆI INFORMACIJSKI SUSTAVI

Jedan od glavnih segmenata Industrije 4.0 su inovativni informacijski sustavi praćenja proizvodnje i resursa unutar poduzeća. Spomenuti sustavi pomažu u povećanju efikasnosti poduzeća te omogućavaju brži protok informacija i podataka iz pogona te skladištenje istih u cloud prostor. Također, podatci se mogu pratiti i u realnom vremenu što otvara mogućnost udaljenog praćenja proizvodnje iz bilo kojeg dijela svijeta, daleko od pogona.

Postoji puno podvrsta suvremenih sustava praćenja i kontroliranja proizvodnje pa će se u ovom radu obraditi samo neki od njih. Slika 1. prikazuje vrste sustava te govori na kojim razinama se koriste određeni sustavi.



Slika 1. Automatizacijska piramida [1]

Najniža razina piramide označava razinu proizvodnje, a u tu skupinu pripadaju uređaji koji se fizički nalaze u proizvodnom pogonu npr. strojevi, elektromotori i osjetnici. Takvi uređaji obavljaju aktivnosti koje su potrebne za oblikovanje proizvoda ili poluproizvoda te praćenje

proizvodnje pomoću osjetnika. Isti ti uređaji, kontroliraju se pomoću sljedeće razine odnosno pomoću PLC/SPC uređaja. PLC uređaji programiraju se na način da omogućavaju da strojevi kojima upravljaju obavljaju aktivnosti poštujući određene uvjete ili parametre. Primjerice, elektromotor se programira da se vrti točno određenom brzinom vrtnje kako se proizvod ne bi ošteti. Unutar PLC-ova može biti integriran i PID regulator koji ima svrhu matematičkog modeliranja danih uvjeta te konstantnog računanja razlike između ciljane vrijednosti i trenutne vrijednosti. Posljedično, uz pomoć izračunate greške i povratne veze koja računa trenutno stvarno stanje (input), PLC djeluje na strojeve kojima upravlja tako da smanjuje izračunatu grešku. Iznad PLC-ova, nalaze se SCADA sustavi koji omogućavaju nadgledanje više PLC uređaja sa jednog mjesta tj. automatiziranje velikih pogona na velikim udaljenostima. Također, SCADA-e se brine i za prikupljanje podataka nastalih tijekom upravljanja proizvodnjom. Posljednje dvije razine su ponajviše za menadžment. MES osigurava da se proizvodnja izvrši sa zadanim ciljevima u zadanom vremenu dok ERP sustavi obuhvaćaju sve to, ali i rad svih ostalih odjela poduzeća. Drugim riječima rečeno, MES sustav kontrolira pogon i proizvodnju dok ERP sustav može kontrolirati cijelo poduzeće izvana i iznutra.

## 2.1. ERP SUSTAVI

ERP (engl. *Enterprise Resource Planning*) sustavi, prikazani na vrhu gore prikazane piramide, podrazumijevaju softvere i aplikacije koji poboljšavaju i olakšavaju upravljanje poslovnih procesa. Najčešće je ERP sustav dan kao jedinstveno rješenje koje integrira više posebnih aplikacija (odjela poduzeća) u jedan sustav te ih povezuje sa središnjom bazom podataka. Istoimena baza sadrži podatke iz svih aplikacija na jednom mjestu i sprječava nepotrebno dupliciranje podataka, a uz pravilno korištenje baze podataka može se analizirati stanje u kompaniji. Posljedično, analizom se može doći do zaključaka koji uvelike olakšavaju donošenje odluka. Primjerice, ukoliko se analizom uvidi da prodaja poduzeća ne ispunjava zadane ciljeve i ne prati proizvodnju, menadžmentu proizvodnje bit će lakše donijeti odluku o smanjenju proizvodnje.

Nadalje, ERP sustavi automatiziraju proces unosa podataka, olakšavaju povezivanje svih dijelova poduzeća te na taj način daju i mogućnost definiranja uskih grla u poduzeću. Ono najbitnije za sve vrste menadžmenta je to da im ERP sustavi omogućavaju da sve odluke donose na temelju lako dostupnih podataka, a ne na temelju vlastitog subjektivnog osjećaja tzv. 'gut felling'.



Slika 2. Aplikacije unutar ERP sustava [2]

Kao i obično, svaka promjena kako u životu, tako i u kompanijama je zahtjevna. Imajući na umu da se implementacijom ERP sustava uvelike mijenja način poslovanja i standardni obrasci ponašanja, prilikom implementacije ERP sustava treba biti vrlo oprezan i sistematičan. Prema istraživanju američke konzultantske i istraživačke kompanije Gartner, čak 75% pokušaja implementacije ERP sustava propadne dok prema istraživanju provedenog od kompanije McKinsey, 70% pokušaja svih digitalnih transformacija ne uspije. Dakle, implementacija ERP sustava može biti neuspješna dok će se za proces implementacije potrošiti velika količina novca što može izrazito negativno utjecati na poduzeće. Najčešći razlozi zbog kojih implementacija ne uspije su loši projektni timovi i neadekvatno testiranje sustava nakon implementacije.

Načini implementacije ERP sustava [3]:

- Unutar tvrtke
- Korištenjem cloud sustava
- Hibridno

---

Način implementacije ERP sustava biraju se na temelju tipa i veličine poduzeća.

**Unutar poduzeća** je vrsta implementacije koja podrazumijeva da kompanija ima vlastiti IT odjel te da se taj odjel brine za održavanje i sigurnost ERP sustava. Dakako, ukoliko poduzeće ne zapošljava informatičke stručnjake, ovaj način implementacije uzrokuje dodatne troškove zapošljavanja. Također, poduzeće je dužno imati vlastiti server, koji je također potrebno održavati, kako bi ovaj način implementacije bio realiziran.

**Cloud sustavi** su inovativni sustavi koji uvelike olakšavaju implementaciju ERP sustava. U ovom slučaju, server je u vlasništvu neke treće strane pa samo poduzeće nema potrebu za posjedovanjem i održavanjem servera, kao ni za dodatnim zapošljavanjem informatičkog osoblja. Za korištenje takvih sustava je potrebna samo internetska veza jer se za pristup ERP koristi web preglednik.

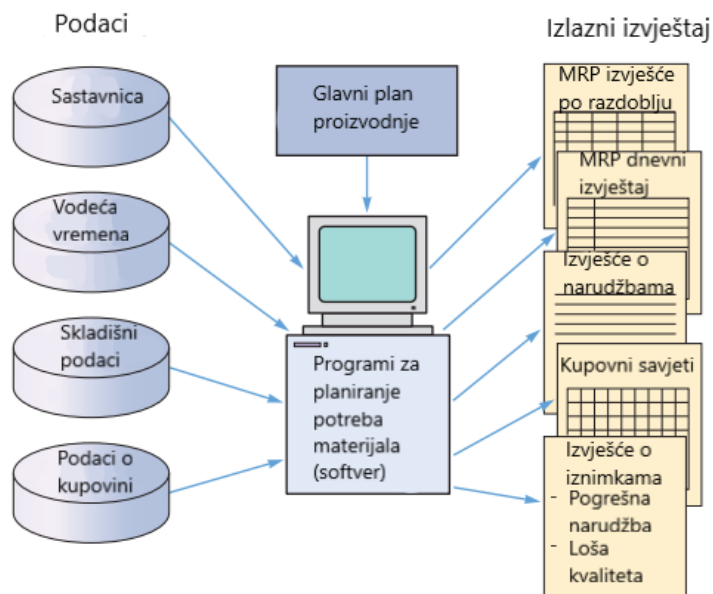
**Hibridni** način je kombinacija prethodnih dvaju oblika implementacije. Naime, ovaj način je koristan u slučajevima kada je poduzeće veliko te ima urede koji su međusobno udaljeni. Također, poduzeće samo odlučuje koje će aplikacije ERP sustava biti pod njihovim vlasništvom, a za koje će se koristiti cloud sustav. Primjerice, ukoliko poduzeće svoj interni sustav smatra sigurnijim, podatke koji su osjetljivi na zlouporabu će spremati na svoj interni server dok će se ostali podatci spremati na cloud.

## 2.2. MRP SUSTAVI

U okviru informacijskih sustava koji olakšavaju poslovanje poduzeća, MRP sustavi mogu se definirati kao temelj prethodno opisanih ERP sustava. MRP sustavi razvijaju se već godinama pa je tako MRP evoluirao u današnji ERP u kojem je MRP jedan od segmenata cjelokupnog sustava. MRP sustavi su softverska rješenja koja vrše proračun materijala i komponenti potrebnih za proizvodnju nekog proizvoda. Ono što je glavna razlika između tih sustava jest da su MRP sustavi vezani konkretno za proizvodnju dok ERP sustavi obuhvaćaju i ostale sfere poslovanja. [4]

Prilikom korištenja MRP sustava koriste se određeni podatci koji omogućavaju da MRP sustav odradi željeni posao. Na temelju slikovitog prikaza u nastavku, može se identificirati što je sve potrebno za korištenje MRP sustava:





Slika 3. Podatci potrebni za rad MRP sustava [5]

MRP sustavi koriste podatke sa sastavnice (engl. *Bill of material*) na kojoj su navedeni svi materijali i komponente potrebne za izradu nekog proizvoda. Kombiniranjem podataka sa sastavnice, podataka vezanih za stanje na skladištu, glavnog plana proizvodnje i podataka vezanih za nabavu proizvoda, MRP sustav računa i definira koji su materijali i kada potrebni kako bi se određeni proizvod proizveo u traženim količinama i na vrijeme. Ono što je važno napomenuti jest da se izričito preporučuje korištenje zavisnih modela potražnje prilikom korištenja MRP sustava. Takvi modeli opisuju međusobnu ovisnost jednog dijela odnosno podsklopa unutar sastavnice sa drugim dijelovima ili sklopovima. Na taj način sprječavaju se pogreške prilikom računanja broja potrebnih komada te se ta metoda unutar proizvodnje naziva MRP (engl. *Material requirements plan*).

Kako je MRP sustav nastao prije ERP sustava, tijekom vremena se i on sam nadograđivao tako da se MRP sustavi mogu podijeliti na dvije vrste: MRP I i MRP II. U osnovi, MRP II je samo nadogradnja na MRP I u kojem su osim planiranja potreba za materijalom, nadodao i dio za planiranje proizvodnih resursa.

Za što jednostavnije shvaćanje postupka evoluiranja MRP sustava u ERP sustav, u tablici će se prikazati što pojedini sustav podrazumijeva, a što ne [4]:

**Tablica 1. Usporedba raspoloživih funkcija MRP I, MRP II i ERP**

	MRP I	MRP II	ERP
Planiranje proizvodnje	✓	✓	✓
Sastavnice	✓	✓	✓
Praćenje zaliha	✓	✓	✓
Planiranje kapaciteta strojeva		✓	✓
Predviđanje potražnje		✓	✓
Kontrola kvalitete		✓	✓
Opće računovodstvo		✓	✓
Financije			✓
Odnosi s kupcima			✓
Lanci opskrbe			✓
Ljudski resursi			✓
Praćenje imovine poduzeća			✓
Marketing			✓
Projektni menadžment			✓

Nedvojbeno je to da MRP sustavi olakšavaju proces proizvodnje i planiranje materijala, međutim imaju i neke nedostatke. Jedan od glavnih nedostataka MRP sustava je da sustav pretpostavlja da je kapacitet postrojenja neograničen. Dakle, pretpostavlja se da su vodeća vremena fiksna pa svaka promjena nekog od vodećih vremena stvara velike probleme. Zbog navedenog, takvi su sustavi idealni za poduzeća koji proizvode u velikim serijama i relativno predvidivom potražnjom bez prisutnosti većih varijacija.

Zaključno, MRP sustavi ne rade detaljno raspoređivanje, već planiraju. MRP sustavi obavještavaju korisnike da određeni posao treba biti obavljen u određenom tjednu, ali ne govore primjerice da se određeni posao treba odraditi na određenom stroju u točno određeno vrijeme (od 10h do 11h) kako bi se proces potom mogao prebaciti na drugi stroj.

### 2.3. MES

Druga po složenosti od vrha u piramidi razina automatizacije su MES sustavi (engl. *Manufacturing Execution System*) koji olakšavaju proizvodni proces. Oni također sakupljaju podatke iz proizvodnje i iz ostalih izvora te ih šalju menadžerima, poslovođama i operaterima kako bi donijeli kvalitetnije odluke vezano za proizvodnju.

Očekivano, integriranjem i analizom podataka MES sustavi mogu povećati efikasnost poduzeća kao i kvalitetu proizvoda s obzirom na činjenicu da je sustav u tom slučaju agilniji odnosno poduzeće može brže reagirati na promjene u zahtjevima kupaca.

Upotrebom suvremene tehnologije (osjetnika) i cloud sustava, MES sustavi omogućavaju praćenje podataka u realnom vremenu. Također, ti podatci mogu se spremati i na ERP sustav u kojem mogu biti dodatno iskorišteni.

Neke od funkcija MES sustava su [6]:

- Kontrola protoka materijala
- Elektroničko praćenje serija
- Upravljanje tokovima rada
- Upravljanje proizvodnim skladištima
- Praćenje vremena u proizvodnji
- Sučelje sa podacima u stvarnom vremenu
- Alati za analizu podatka
- Sljedivost materijala i aktivnosti operatera

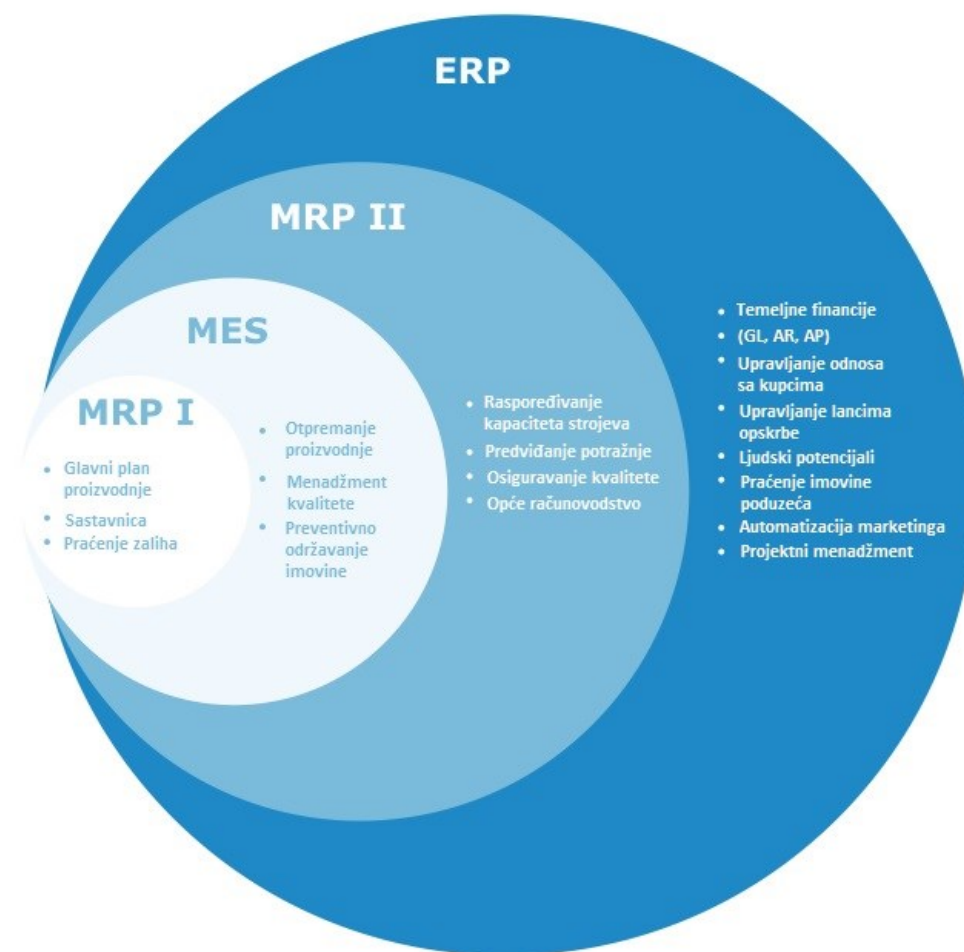
Takvi sustavi koriste se kraćim vremenskim jedinica od MRP sustava, dakle u danima, smjenama ili satima i minutama. Može se uvidjeti postepeni silazak sa vrha piramide (ERP sustava) koji integrira mnogo dijelova poduzeća prema MES sustavima koji su konkretno praćenje proizvodnje u pogonu. Kako bi se izbjegle nedoumice, važno je napomenuti kako su u nekim poduzećima MES sustavi također jedan od segmenata ERP sustava. Može se reći da MES sustavi daju puno detaljnije podatke iz proizvodnje nego što je to potrebno u samom ERP sustavu. Primjerice, za uspješno djelovanje odjela marketinga nije potreban svaki detalj iz pogona. Naravno, ti 'detalji' će biti od velike koristi direktorima i voditeljima proizvodnje jer će im dati konkretan uvid u stanje pogona te će im biti alarm za potencijalne poteze.

Trenutni trendovi u prodavanju softvera i informacijskih sustava temeljeni su na prilagodljivosti istih. Tako se u ovom slučaju svaki od sustava (ERP, MRP, MES) mogu dodatno prilagođavati pa se određene funkcije mogu preklapati. Generalno postoji okvir koji određuje koje funkcije se odnose na koji sustav, no kako poduzeća daju mogućnost prilagođavanja softvera nije jednostavno definirati liniju i razgraničiti pojedine funkcije ovih sustava. Međutim, kao što je rečeno, generalni okvir postoji i definirana je ideja da su ERP sustavi usmjereni na cjelokupno integriranje svih odjela poduzeća dok su MES sustavi zaduženi za ono što se događa u pogonu.



Slika 4. MES vs ERP [7]

Također, slikovitim prikazom se može prikazati generalna raspodjela funkcija svih sustava spomenutih do sada:



Slika 5. Generalna raspodjela funkcija [4]

Važno je napomenuti da se prilikom implementiranja određenih sustava treba jasno definirati cilj. Najprije kako bi se izbjegao otpor ljudi prilikom primjene sustava, a potom kako se ne bi posao dodatno zakomplicirao, već olakšao.

MES sustavi poput Hydra MES-a omogućavaju da kupac odabere aplikacije koje mu trebaju. Neke od funkcionalnosti tih aplikacija su, kao što je već spomenuto, kontrola pristupa podacima, kontrola rasporeda aktivnosti, prijenos NC programa do stroja, logistika materijala i proizvodnje, praćenje proizvodnje te praćenje podataka o strojevima i narudžbama. Posljedično, primjenom ovakvih sustava dolazi do smanjenja vremena ciklusa, uklanja se vrijeme unosa podataka, smanjuje se vodeće vrijeme, smanjuje se uporaba papira, poboljšava se proces planiranja itd.

### **3. POSTOJEĆA TEHNOLOŠKA RJEŠENJA BAZIRANA NA KONCEPTU INDUSTRIJE 4.0**

Industrija 4.0 odnosi se na četvrtu industrijsku revoluciju koju karakteriziraju digitalizacija, robotizacija i automatizacija. Kako bi se povećala efikasnost i fleksibilnost proizvodnje implementiraju se dostupna rješenja te se na taj način ide ka Industriji 4.0. Pojam Industrije 4.0 prvi put se pojavljuje u Njemačkoj. Tada je ideja njemačke vlade bila da proizvodnju prilagode cilju masovne proizvodnje te na taj način ojačaju svoje gospodarstvo. Danas, Industrija 4.0 uz masovnost proizvodnje ističe fleksibilnost korištenjem umjetne inteligencije, proizvodnjom aditiva, korištenjem IoT (engl. *Internet of Things*) sustava, upotrebom robota i osjetnika itd.

Nadalje, ideja Industrije 4.0 je i olakšavanje komunikacije između stroja i čovjeka, ali i omogućavanje komunikacije između strojeva. Time se teži da sustavi postanu autonomni, da se proces donošenja odluka automatizira, a da odluke donosi inteligentni sustav na temelju podataka dobivenih od strojeva.

Industriju 4.0 krasi i mogućnost udaljenog rada ili upravljanja. Na taj način, omogućava se kolaboracija sa timovima diljem svijeta bez potrebe za putovanjima i čekanjima. Dakle, u hitnim situacijama moguće je zaustaviti rad od kuće ili pak kolaborirati sa vanjskim suradnicima koji su na drugom kraju svijeta kako bi se pospješilo poslovanje poduzeća.

Proces implementacije nije tako brz i jednostavan pa je za primjenu svih spomenutih koncepata potrebno uložiti vremena i truda. S obzirom na kompleksnost i poboljšanja koja donose, rješenja bazirana na konceptima Industrije 4.0 zahtijevaju i značajna kapitalna ulaganja. Stoga bi svako poduzeće prije implementiranja određenih sustava trebalo provesti istraživanje o isplativosti primjene takvih sustava te odlučiti jesu li spremni na takva ulaganja. Generalno, takve investicije su isplativije na duže staze, međutim ne mogu si sva mala i srednja poduzeća priuštiti velika kapitalna ulaganja te dugi rok isplate investicije.

Današnja tehnološka rješenja su raširena na mnoga područja, neka se odnose na informacijske sustave (digitalizaciju) koji se koriste u poduzeću, neka na robotizaciju pogona ili na automatizaciju. Neka od konkretnih primjera rješenja obradit će se u narednim poglavljima.

#### **3.1. ERP SUSTAVI**

Kao osnova digitalizacije poduzeća primjenjuju se prethodno obrađeni ERP sustavi. Postoje mnogi prodavači i softverske kuće koje daju svoja rješenja. Svaki od ERP sustava posjeduje svoje prednosti i nedostatke. Uobičajeno, svi ERP sustavi su prilagodljivi i mogu se dodatno

uključivati pojedine značajke koje su potrebne poduzeću, međutim neki programi omogućavaju, a neki ne omogućavaju dodavanje nekih aplikacija. U svestranosti aplikacija te mogućnostima proširivanja baznog programa se zapravo očituje jakost određenog ERP sustava pa ih na taj način možemo distingvirati.

Neki od najpoznatijih softverskih rješenja ERP sustava su: SAP, Odoo, Microsoft Dynamics i Oracle Netsuite. U nastavku će se dati osnovne informacije o svakome.

**Microsoftovo rješenje;** 'Microsoft Dynamics AX' je izvorno nastalo u suradnji IBM-a i Daamgard Datae 1998. nakon čega ga je Microsoft 2002. otkupio i od taga ga razvija. Njihov softver je ponajviše namijenjen za srednje velika poduzeća koje posluju na više lokacija. Prednosti ovoga softvera su segment proizvodnje i distribucije te mogućnosti povezivanja sa ostalim Windows aplikacijama, a najčešće je korišten od strane kompanija sa godišnjim prihodom većim od 50 milijuna američkih dolara. Pružatelj usluga daje mogućnost implementacije sustava putem cloud sustava i na lokaciji (unutar poduzeća).

**Oracle NetSuite;** nastao je davne 1998. kao softver za računovodstvo te se od tada razvija prema ERP sustavu sa puno više značajki kao što je danas. NetSuite ima modularnu strukturu tako da svaki odjel poduzeća ima svoj modul odnosno traženu aplikaciju. Postoje osnovne i napredne verzije, ali postoji i mogućnost kupovanja zasebnih aplikacija čija cijena varira od 199 do 499 američkih dolara.

**Odoo;** je 'open-source' programsko rješenje modularne strukture u kojoj kao i kod Oracleovog Netsuita. Odoo pruža mogućnost implementacije putem cloud sustava, ali i na lokaciji. S obzirom da je ovaj program 'open-source' moguće je i sudjelovati u programiranju aplikacija unutar Odoo sustava kako bi se stvorila nova aplikacija koja rješava konkretni određeni problem unutar poduzeća. S obzirom na navedeno, može se zaključiti da je Odoo-ova najveća prednost fleksibilnost.

**SAP;** je multinacionalna kompanija koja pruža usluge ERP sustava, a jedan od najosnovnijih softvera je 'SAP Business One'. Isti je nastao 2002. godine te je jedan od najjeftinijih rješenja iz SAP-ove grupe dok SAP kao kompanija najviše surađuje sa velikim poduzećima. Sustav je također moguće implementirati putem cloud-a ili na lokaciji.

Jedan od pružatelja usluga, Odoo, je napravio usporedbu između svojih rješenja i rješenja svojih najvećih konkurenata. U tom istraživanju, analizirao se svaki od spomenutih sustava te su prikazali što svaki sustav ima, a što nema.

## Features Comparison

Inventory Management	Odoo Enterprise V10	MS Dyn AX	SAP B1	NetSuite
<b>General</b>				
Multi-Warehouse	✓	✓	✓	✗ <sup>1</sup>
Storage Locations (Bins)	✓	✓	✓	✓
Bin Replenishment	✓	✓	✓	✓
Mobile Device Support	✓	✓	✓	✓
Multi-Company	✓	✓	✓	✓
Multi-Currency	✓	✓	✓	✓
Multi-Language	✓	✓	✓	✓
Automatic ASN (Advanced Shipping Notice)	✗	✓	✗	✓
Package Management / Cartoning	✓	✓	✓	✓
Freight Carrier Integration	✓	✓	✗	✓
Manage Consignee Stocks	✓	✗	✓	✓
EDI (Electronic Data Interchange)	✗ <sup>2</sup>	✗ <sup>3</sup>	✓	✗ <sup>4</sup>
<b>Products</b>				
Non-Stocked Inventory <sup>5</sup>	✓	✓	✗	✗
Multiple Variants	✓	✓	✗	✓
Multiple Units of Measure	✓	✓	✓	✓
Inter-class UoM Conversion <sup>6</sup>	✓	✓	✓	✓
Variant Matrix	✗	✓	✗	✓

1 NetSuite supports multiple companies, but only one warehouse per company.  
 2-4 EDI is available through third-party software.  
 5 Physical products for which we don't manage the inventory level.  
 6 Conversion of base and secondary UoM (i.e. Volume to Mass). Sometimes called secondary units of measure.

**Slika 6. Komparacija ERP sustava 1.dio [8]**



Manufacturing	Odoo Enterprise V10	MS Dyn AX	SAP B1	NetSuite
<b>Master Data</b>				
Multi-Level BoM	✓	✓	✓	✓
Byproducts / Coproducts	✓	✓	✗	✗
Routings	✓	✓	✗	✓
Subassemblies	✓	✓	✓	✓
One BoM for Multiple Product Variants	✓	✗	✗	✗
BoM versions	✓	✓	✓	✓
Multiple BoM / Routing <sup>1</sup>	✓	✓	✓	✓
<b>Planning</b>				
Demand Forecasting	✓	✓	✓	✓
MRP I Scheduler	✓	✓	✓	✓
MRP II Scheduler <sup>2</sup>	✓	✓	✗	✓
Master Production Schedule	✓	✓	✗ <sup>3</sup>	✓
Gantt Chart Scheduling w/ Drag & Drop	✓	✓	✓	✗
Kanban Planning	✓	✓	✗	✗
Production Calendar	✓	✗	✗	✓
Infinite Capacity Scheduling	✓	✓	✓	✓
Finite Capacity Scheduling	✓	✓	✗	✓
Available to Promise	✗	✓	✓	✓
Multiple Scheduling Plans	✗	✓	✓	✓
Delivery Date Calculation (Backwards Scheduling)	✓	✓	✗	✗
Production Order Splitting/ Merging	✗	✓	✗	✗
<b>Operations</b>				
Manufacturing / Production Orders	✓	✓	✓	✓
Job Tracking	✓	✓	✓	✓
Work Orders / Operations	✓	✓	✗	✓
Automated Time Tracking	✓	✓	✗	✓
Disassembly Orders	✓	✓	✓	✗
Subcontract Manufacturing	✓	✓	✓	✓
Rework / Repair	✓	✓	✗	✗
Scrap	✓	✓	✓ <sup>4</sup>	✓
Disposal Strategies	✓	✓	✗	✗
Kits	✓	✓	✓	✓
Edit Individual Production BoMs	✗	✓	✓	✗

1 Ability to create multiple BoMs or routings for a single product.

2 Ability to schedule work orders based on workcenter capacity and availability.

3 MRP Wizard performs a similar function.

4 Constant Scrap Only.

Slika 7. Komparacija ERP sustava 2.dio [8]

Manufacturing	Odoo Enterprise V10	MS Dyn AX	SAP B1	NetSuite
<b>Costing</b>				
Perpetual Inventory Valuation <sup>1</sup>	✓	✓	✓	✓
Periodic Inventory Valuation <sup>2</sup>	✓	✓	✓	✗
Standard Price	✓	✓	✓	✓
FIFO	✓	✓	✓	✗
Landed Costs	✓	✗ <sup>3</sup>	✓	✓
Actual Production Labor	✓	✗	✗	✓
Production Order Costing	✓	✓	✓ <sup>4</sup>	✓
<b>Shop Floor Control</b>				
Shop Floor Terminals	✓	✓	✗ <sup>5</sup>	✗
Production Activities	✓	✓	✓	✓
Non-Production Activities <sup>6</sup>	✓	✓	✗ <sup>7</sup>	✗
Time Tracking	✓	✓	✗	✓
Messages on Work Orders	✓	✓	✗	✗
Barcode Support	✓	✓	✗	✓
Equipment / Machine Management	✓	✗	✗	✗
Work Instructions on Work Orders	✓	✗	✗	✗
Maintenance Requests from Shop Floor Terminal	✓	✗	✗	✗
<b>Human Resources</b>				
Schedule Management	✓	✓	✗	✓
Touchscreen Attendance	✓	✗	✗	✗
Timesheets	✓	✓	✗	✓
Breaks	✓	✓	✗	✗
Overtime	✓	✗	✗	✗
Vacation / Injury	✓	✓	✗	✗
<b>Reporting and Forecasting</b>				
Overall Equipment Efficiency	✓	✗	✗	✗
Work Time	✓	✓	✓	✓
Demand Forecast	✓	✓	✓	✓
Maintenance KPIs	✓	✗	✗	✗
Production Costs Analysis	✓	✓	✓	✓
Up/Downstream Traceability	✓	✓	✓	✓
Analytic Accounting	✓	✗	✓	✓
CSV Export	✓	✗ <sup>8</sup>	✓	✓
Dynamic Pivot Tables	✓	✗	✗ <sup>9</sup>	✗
Dashboards	✓	✓	✓	✓
Save Custom Reports	✓	✓	✓	✓

1-2 Inventory moves affect stock levels only.  
3 As a "miscellaneous" charge on the purchase order.  
4 Planned labor included as line item on the BoM.  
5 No special interface exists for shop floor use. Workers could view production orders from a standard SAP interface on the shop floor.  
6 Tasks like cleanup or setup which do not directly contribute to production.  
7 Could be configured as production orders.  
8 Conversion from ASCII or HTML and manual manipulation required.  
9 Using MS Excel Connector.

Slika 8. Komparacija ERP sustava 3.dio [8]

Dakako, izbor ERP sustava zavisit će o mnogo faktora, a jedan od glavnih za svako poduzeće je i cijena pa će se u nastavku dati informacije o cijenama i određenim faktorima vezanim uz ERP sustave SAP-a, Oraclea i Microsofta. Također, nijedan sustav nije savršen pa tako ni spomenuti ERP sustavi ne rade uvijek savršeno. Zbog navedenog, u istraživanju je praćena i stopa pojavljivanja ometanja prilikom online korištenja sustava.

**Tablica 2. SAP vs. Oracle vs. Microsoft Dynamics [9]**

	SAP	Oracle	Microsoft Dynamics
Udio na tržištu	19%	13%	16%
Ulazi u uži izbor kod odabira	38%	18%	31%
Kratkoročna stopa naplate	38%	22%	22%
Vrijeme implementacije	23,1 mjeseci	24,5 mjeseci	23,6 mjeseci
Ukupna cijena	2,09 milijuna \$	2,38 milijuna \$	2,06 milijuna \$
Vrijeme povrata investicije	30 mjeseci	29 mjeseci	12 mjeseci
Ometanja u online korištenju	44%	42%	41%
Ostvareno više od 50% procijenjenih benefita	34%	21%	26%

### 3.2. ROBOTIZACIJA

„Robotika je postala dio moderne industrijske proizvodnje. Integracija robota u pogone donijela je tehnološki napredak i povećala produktivnost u svim područjima industrije“. [10]

Dakle, iako je to etički izazovno, nastoji se da poslove koji su izrazito fizički zahtjevni, repetitivni i opasni počinju obavljati roboti umjesto ljudi. Roboti naravno imaju mnoge prednosti u odnosu na čovjeka, ali trenutno nisu na intelektualnoj razini dovoljno autonomni kako bi u potpunosti zamijenili čovjeka. Najveća prednost robotizacije proizvodnog sustava je da se roboti ne umaraju, mogu raditi neprestano osim vremena održavanja. S druge pak strane, kapitalna investicija je izrazito visoka, a postoje poslovi u kojima je čovjek daleko ispred robota.

Primjeri poslova koje odrađuje robot:

- Slaganje proizvoda u kutije
- Zavarivanje
- Brzo premještanje objekata
- Paletizacija i depaletizacija
- Manipulacija velikim teretima
- Aktivnosti koje zahtijevaju veliku preciznost

Također, postoje i specifične vrste robota koji surađuju sa čovjekom tzv. kolaborativni roboti. Takvi roboti služe da bi robot paralelno radio sa čovjekom poslove koji su za čovjeka teški, a za robota jednostavni. Neki od tih poslova su primjerice slaganje sitnih mehaničkih dijelova, automatsko pričvršćivanje vijaka ili izrada precizne opreme. Takve robote karakterizira iznimno visoka ponovljivost.

Iako je početna investicija visoka, prodavači robotskih rješenja ističu da se investicija relativno brzo isplati. Zanimljivo je to da roboti u hrvatskim tvrtkama mijenjaju od dva do dvanaest ili više radnika na jednom mjestu. Nadalje, Hrvatska zaostaje za razvijenim zemljama po broju robota u odnosu na broj zaposlenih ljudi, ali trend je rastući. Prvi robot korišten u hrvatskoj tvrtki Podravka nabavljen je još 1999. dok se u kompaniji AD Plastik koja posluje u Hrvatskoj koristi više od stotinu robota. [11]

Jedna od najpoznatijih kompanija na svijetu u proizvodnji robota je švedsko švicarska multinacionalna kompanija osnovana 1988. koja proizvodi robote mnogih vrsta.



**Slika 9. ABB IRB 1410 industrijski robot [12]**

Jedan od njihovih robota je i model IRB 1100 koji ima iznimna dinamička svojstva te napredne funkcije upravljanja. Njegova nosivost iznosi 4 kg, a njegov doseg je 0,58 m što znači da je optimalan za neke poslove koji su repetitivni i sa manjim komadima. Također, mogao bi se iskoristiti i za proces lučnog zavarivanja s obzirom da ima pripremu za postavljanje žica za zavarivanje.

Uz ABB, postoje i mnoge druge kompanije, a jedna od njih je i Mitsubishi Electric. Jedno od njihovih rješenja iz MELFA serije robota je i model Assista RV-5AS. To je kolaborativni robot koji ima dugi životni vijek te ponovljivost od samo +/- 0,03 mm.

Spomenuti robot je usklađen sa ISO standardima te je certificiran od strane TÜV-a. Prilikom rada može se ograničiti njegova brzina, sila i pozicija. Ima ugrađeni enkoder bez baterije tako da robot sačuva poziciju u internu memoriju. Ugrađeni servomotori omogućuju praćenje e prediktivno i preventivno održavanje robota. Motori unutar sklopa djeluju kao osjetnici te nude ograničenje momenta bez dodatnih osjetnika. Robot se u kolaboraciji sa čovjekom može i ručno voditi pomoću jednostavnih tipki na samoj robotskoj ruci, ali s obzirom na suvremena rješenja moguće ga je i programirati online.



**Slika 10. Kolaborativni robot Mitsubishi Electric – MELFA Assista RV-5AS [13]**

### 3.3. OSJETNICI

Osjetnici su također jedni od uređaja koji su ključni za Industriju 4.0. To su uređaji koji vrše mjerenja, spremaju podatke ili ih šalju na druge uređaje ili kontrolere te tako omogućuju strojevima i robotima međusobnu komunikaciju te praćenje proizvodnje.

Moderni osjetnici tzv. smart osjetnici nakon nekog fizičkog mjerenja, dobivene podatke putem digitalnog signala šalju na mikrokontroler. Pomoću spomenutog mikrokontrolera se podaci obrađuju te se obavljaju logičke operacije odnosno postoji mogućnost programiranja spomenutih mikrokontrolera kako bi sustav uz pomoć osjetnika sam donosio odluke.

Moderni senzori zbog digitalnog izlaza signala mogu se spajati sa različitim sučeljima te svoja mjerenja slati u središnji sustav (bazu podataka), primjerice MRP te tako pratiti protok materijala. Također, podaci se mogu pratiti i u realnom vremenu što dovodi do zaključka da takvi osjetnici omogućuju udaljeno nadgledanje proizvodnje.

Najkorištenija vrsta osjetnika u proizvodnji su fotoelektrični osjetnici koji predstavljaju umjetne oči. Takvi osjetnici su prilagodljivi za različite funkcije pa se tako mogu koristiti za praćenje pokreta gore dole, pomak komada unutar stroja, pomak konvejserske trake itd.

Banner Engineering je kompanija koja pruža takvo rješenje, a riječ je o polariziranom fotoelektričnom osjetniku koji ima doomet od 0,15 do 6 m te može raditi na temperaturama između -40 i +70 stupnjeva Celzijusa.



Slika 11. Fotoelektrični osjetnik Banner Q45VR2 [14]

Uz spomenute multifunkcionalne osjetnike koriste se i klasični osjetnici koji mjere samo jednu fizikalnu značajku, primjerice temperaturu, tlak ili vlažnost. Takva vrsta osjetnika može se koristiti primjerice za kontrolu i održavanje konstantne temperature u proizvodnom pogonu. Stvara se komunikacijski krug između osjetnika, kontrolera i klima uređaja te se definira raspon u kojem se temperatura može kretati, npr. ako temperatura pređe definiranu granicu klima uređaj se pali i obrnuto. Temperaturni osjetnik se može koristiti i za ispitivanje kvalitete određenog proizvoda, praćenje temperature radnog motora ili za kontroliranje uvjeta zavarivanja ukoliko imamo definiranu maksimalnu temperaturu na kojoj se smije zavarivati. U tom slučaju mogu se koristiti površinski temperaturni osjetnici.



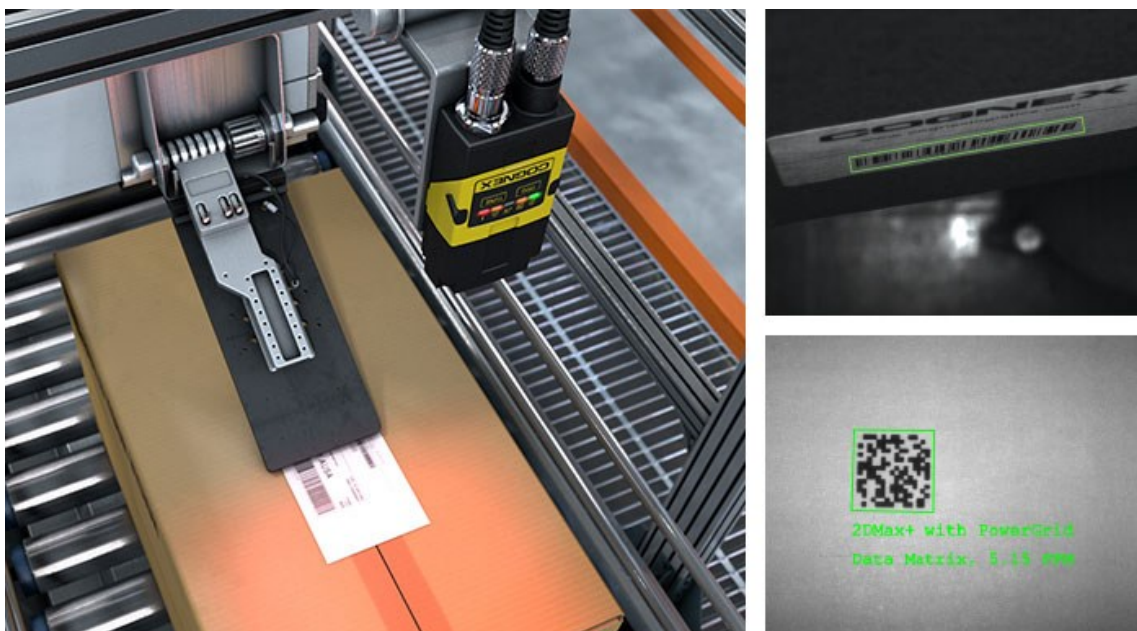
**Slika 12. Temperaturni osjetnik THERMASPARD ALTM1 – Modbus – T3 [15]**



Nadalje, mogu se spomenuti i osjetnici koji funkcioniraju kao čitači barkodova. Takvi osjetnici su također uporabljivi u proizvodnji te ukoliko se proizvodi pakiraju u kutije može se pratiti brzina kojom paketi izlaze sa trake, a samim time i kapacitet proizvodnog sustava.



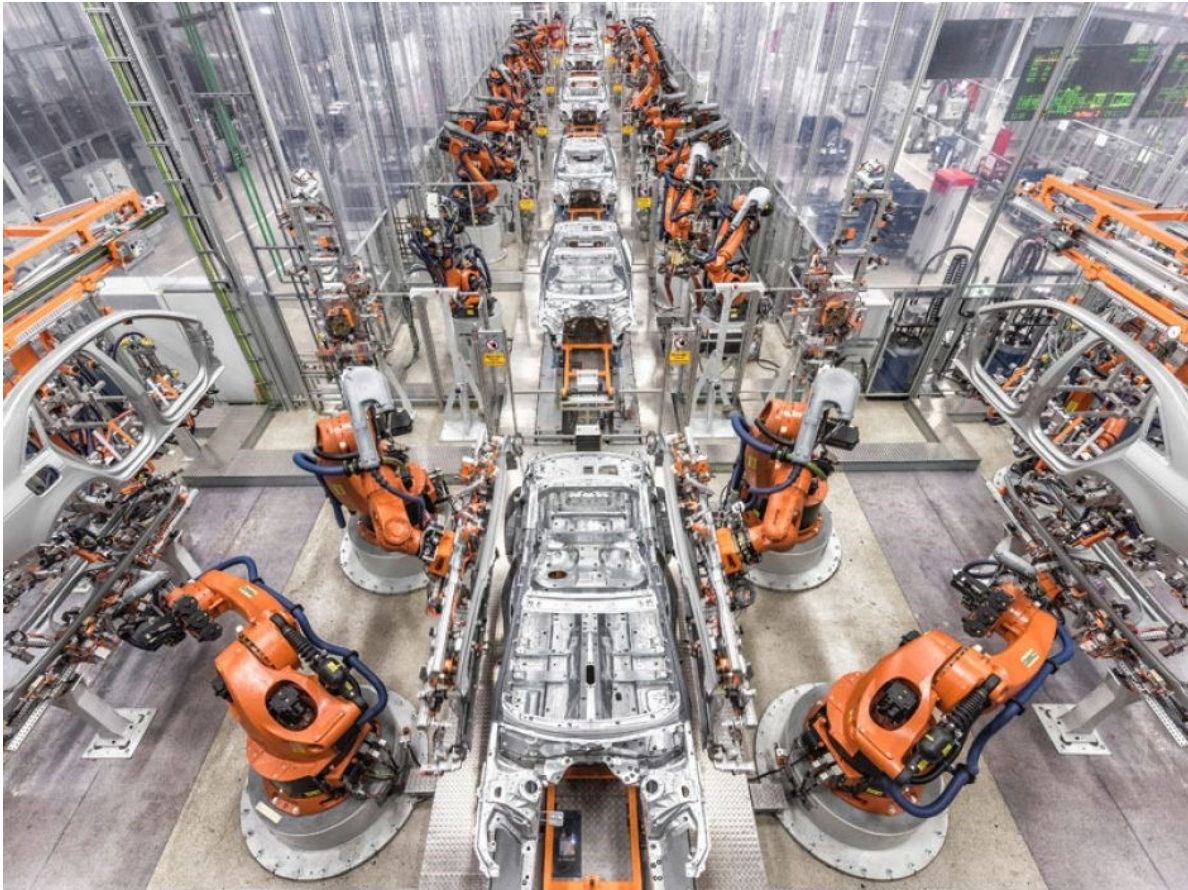
Slika 13. Čitač barkoda Cognex DataMan 150/260 [16]



Slika 14. Skeniranje barkodova i QR kodova [16]

### 3.4. PAMETNE TVORNICE

Pametne tvornice su tvornice koje predstavljaju integraciju maksimalnog broja mogućih tehnoloških rješenja baziranih na konceptu Industrije 4.0. Takve tvornice karakteriziraju vrlo visoka efikasnost, visoka razina autonomije sustava, visoka kvalificiranost radne snage i fleksibilnost.



Slika 15. Robotizirana tvornica kompanije Audi [17]

Nadalje, pametne tvornice zbog svoje umreženosti te povezanosti na Internet optimiziraju i lance opskrbe pa se i na taj način eliminiraju nepotrebni gubici vremena. Prednost ovakvih tvornica je uz konstantno praćenje podataka i mogućnost boljeg predviđanja održavanja te mogućih zastoja.

Kako je Njemačka jedna od najjačih industrijskih sila u Europi, u njoj postoje primjeri pametnih tvornica, a neke od njih su u funkciji već dulji period.

Neki od primjera pametnih tvornica su [17]:

- Tesla, Berlin
- Bosch, Blaichach
- Siemens, Amberg
- Infineon, Dresden

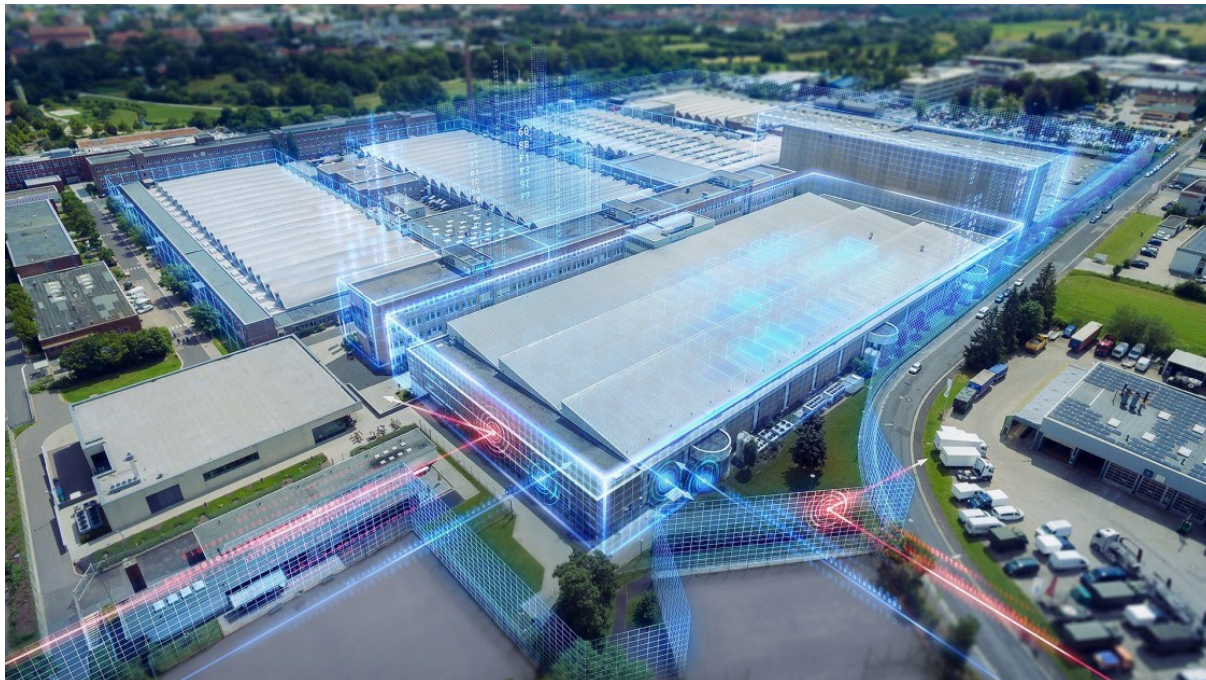
Teslina tvornica u Berlinu otvorena je krajem 2021. godine te je četvrta u nizu Teslinih velikih tvornica, a to je ujedno i prva giga tvornica u Europi. Paralelno, u njoj će se koristiti veliki broj rješenja baziranih na konceptima pametne proizvodnje, a u svrhu proizvodnje pametnog automobila.

Boschova pametna tvornica koristi naprednu tehnologiju te koristi dvadesetak mobilnih uređaja putem kojih se prati stanje u proizvodnji, kontrola strojeva i pozicija u procesu. Podaci koji se skupljaju putem 60 000 osjetnika su nadgledani od 150 radnika koji nastoje ukloniti svaku potencijalnu pogrešku, a sistem praćenja im omogućava da uoče razlike u vremenima ciklusa u milisekundama.



**Slika 16. Boschova inovativna tvornica, Blaichach [18]**

Siemensova pametna tvornica je 2018. godine dobila nagradu godine za pametnu tvornicu zbog prepoznavanja izrazito naprednih rješenja na temelju Industrije 4.0. Tvornica koristi kolaborativne robote, 3D printere, digitalne uređaje za kontrolu kvalitete i mjerenje itd.

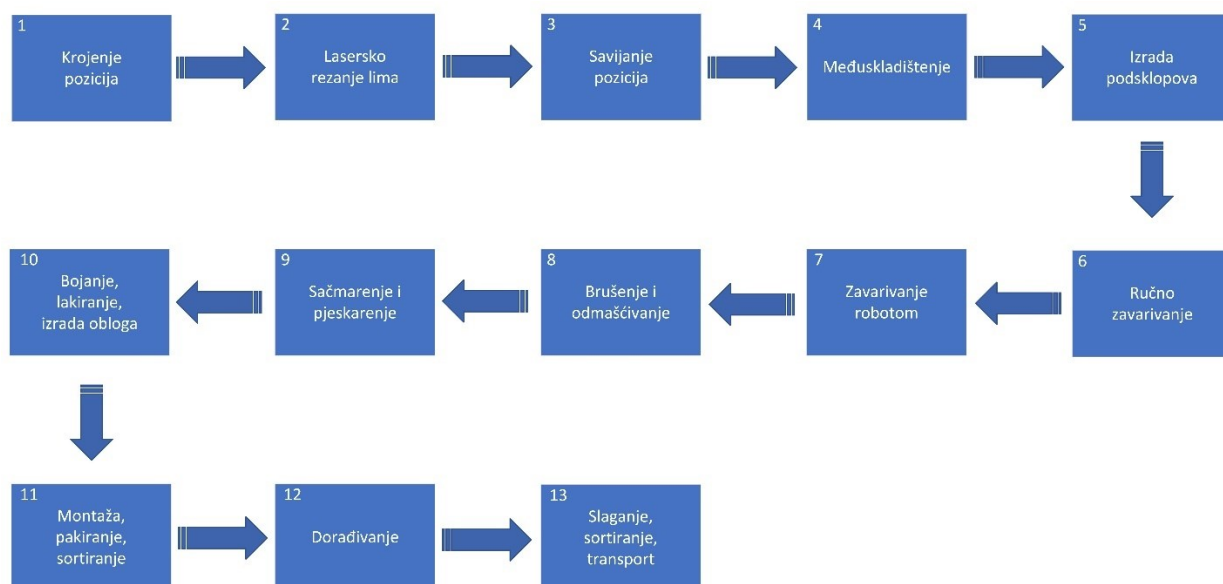


**Slika 17. Siemensova pametna tvornica [17]**

#### 4. ANALIZA PRIMJERA

U danom primjeru iz proizvodnog pogona, analizirat će se mogućnosti poboljšavanja proizvodnog procesa te dati prijedlozi za implementaciju sustava temeljenih na konceptu Industrije 4.0.

Tehnološki proces je izrade proizvoda nije posve jednostavan jer se radi o proizvodu visoke kvalitete. Također, proizvodi su podložni posebnim prilagođavanjima na kupce pa tako ne postoji jedinstven tehnološki proces za svaku inačicu proizvoda. Zbog zaštite podataka gospodarskog subjekta u ovom slučaju nije dopušteno iznositi detalje o proizvodu i tehnološkom procesu, stoga će se pristupiti analizi bez navođenja kritičnih podataka. Međutim, u nastavku je dan okvirni tehnološki proces kojeg se može promatrati kako bi se dobila ideja o vrsti tehnološkog procesa.



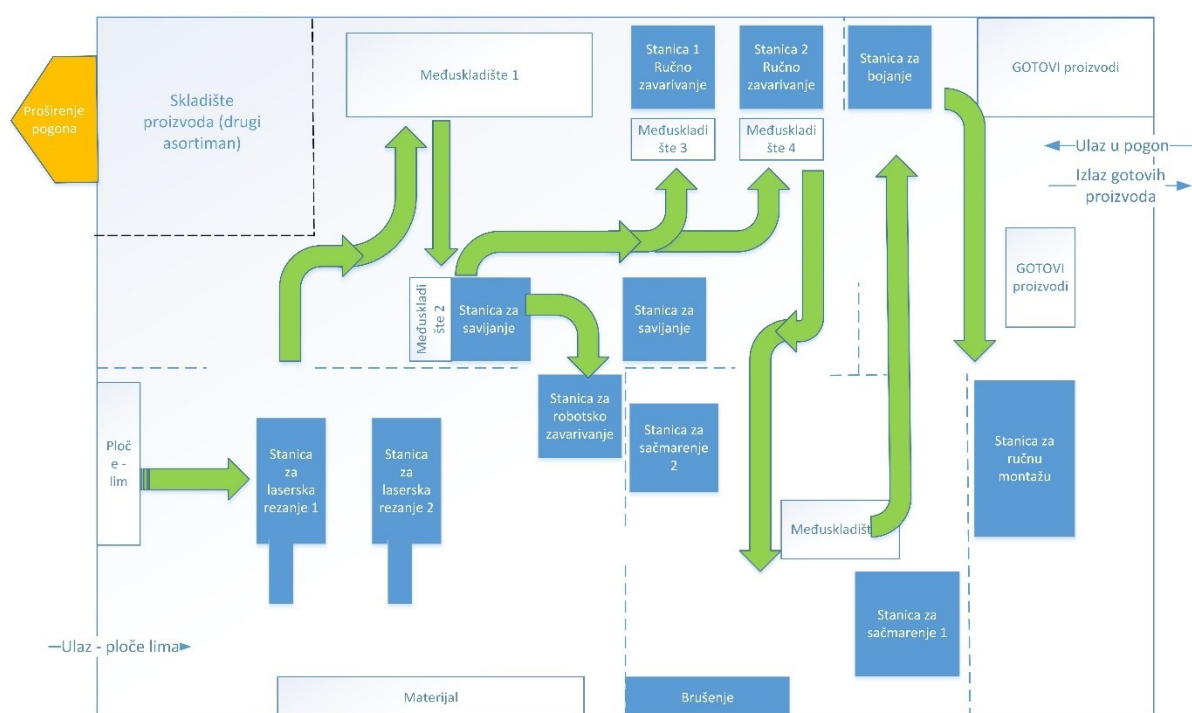
Slika 18. Tehnološki proces

Tehnološki proces se odvija na jednom mjestu u jednoj proizvodnoj hali. U budućnosti je cilj poboljšati proizvodnju kroz primjenu rješenja baziranih na Industriji 4.0. Također, tijekom analize i implementacije planiraju se provesti i određeni postupci kako bi se općenito poboljšao tok materijala i omogućilo povećanje kapaciteta. Problematika primjene rješenja baziranih na konceptu Industrije 4.0 je ta da se ne može samo dodati neko od rješenja ili zamijeniti proces ručnog zavarivanja sa robotom već se mora pobrinuti o adekvatnosti primjene tih rješenja, kao i o pripremi proizvodnje na promjenu.

#### 4.1. TOK MATERIJALA I PROSTORNI RASPORED PROIZVODNOG POGONA

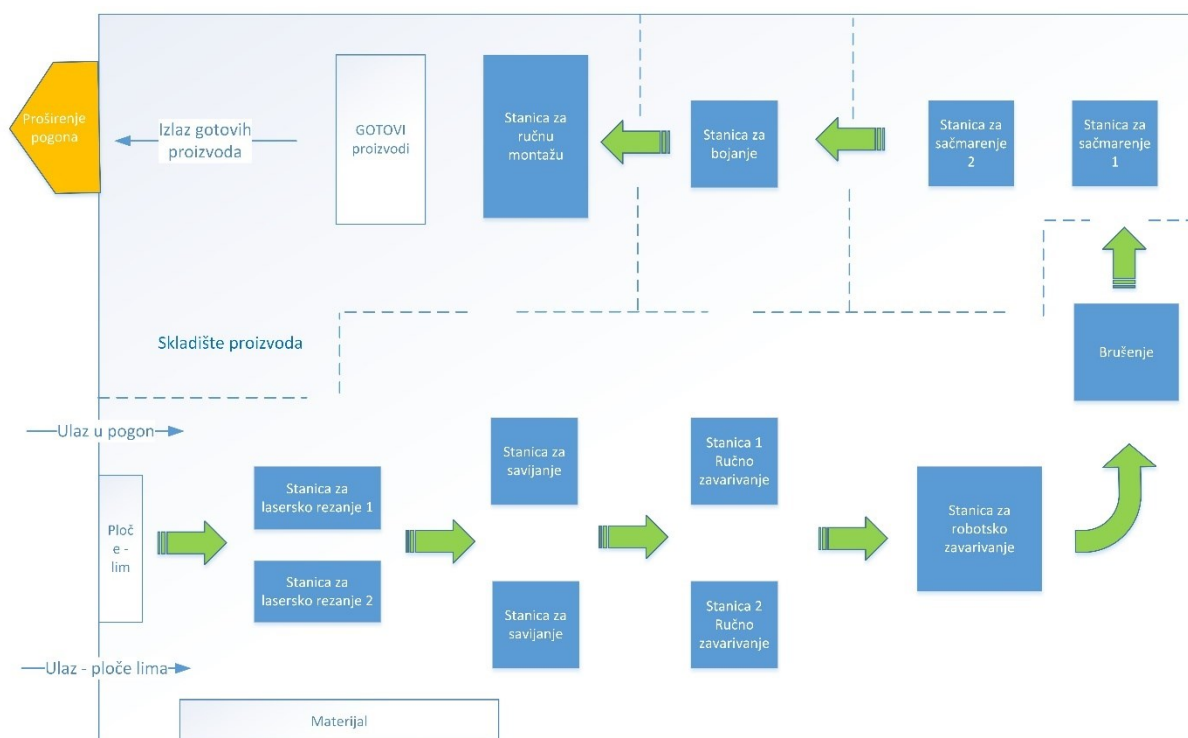
Prilikom projektiranja svakog proizvodnog sustava potrebno je voditi računa o budućim mogućnostima proširivanja pogona te povećanjima proizvodnih kapaciteta. Također, optimalan tok materijala esencijalna je osnova za implementaciju rješenja baziranih na konceptu Industrije 4.0 kako bi se iskoristio puni potencijal implementiranih rješenja. Trenutačni tok materijala u proizvodnom pogonu nije idealan uslijed neplanskih proširivanja i dodavanja određenih strojeva.

Trenutačni tok materijala prikazan je na slici 19.



Slika 19. Tok materijala u postojećem procesu

S obzirom na činjenicu da se planira proširiti proizvodni pogon, ideja je rasporediti trenutne elemente na način da proširenje bude što jednostavnije. Također, može se uvidjeti da su određeni tokovi materijala (između međuskladišta i stanica) trenutno neoptimalni što će se u predloženom rješenju pokušati eliminirati. Nadalje, uz kontinuirani i logični tok materijala, cilj je i ostvariti maksimalno iskorištenje prostora u pogonu na način da se putevi između stanica maksimalno skrate.



**Slika 20. Prijedlog prostornog rasporeda i optimalni tok materijala**

U rješenju prikazanom na slici 20. naglasak je stavljen na mogućnost proširenja kapaciteta na stanicama gdje se obavljaju aktivnosti savijanja i ručnog zavarivanja. U tim dijelovima procesa potencijalno je moguće zamijeniti ljudsku radnu snagu sa robotima te na taj način pospješiti efikasnost proizvodnje i povećati takt. Za takve promjene potrebno je imati dovoljno prostora s obzirom na činjenicu da robotska rješenja najčešće zahtijevaju značajnu površinu kako bi se osigurala kvaliteta rada. Većom površinom izbjegava se i mogućnost utjecaja vibracija sa ostalih strojeva na robote što može negativno utjecati na kvalitetu robotskog zavarivanja.

U dijelovima pogona u kojima je teže zamijeniti ljudsku snagu kao što su stanica za bojanje i stanica za ručnu montažu, nastojao se osigurati adekvatan prostor fizički odijeljen od mehanizacijskog (potencijalno automatiziranog) dijela pogona. Na taj način izbjegao bi se negativan utjecaj buke na radnike te povećala sigurnost radnika s obzirom da bi ti radnici jako malo vremena provodili u blizini stanica gdje postoji povećana mogućnost utjecaja na zdravlje.

## 4.2. ANALIZA VREMENA

Koristeći se određenim softverima poput AnyLogic-a moguće je simulirati proizvodni proces u digitalnom obliku te pomoću dostupnih alata statistički analizirati vremena proizvodnje. Na taj način, dobiva se jasna slika o tijeku proizvodnje te se omogućuje jasno definiranje uskih grla. Idealno bi bilo da su vremena koja se koriste prilikom analize mjerena koristeći se jednim od rješenja Industrije 4.0. Neki od primjera takvih rješenja su sustavi barkod skenera koji bi skenirali poluproizvod svaki puta kada dođe na neku radnu stanicu. Mjerenjem tih vremena mogla bi se izračunati vremena takta, a posljedično i vremena ciklusa.

Još jedno od rješenja je i korištenje RFID sustava koji omogućavaju da se prenose podatci između oznake zalijepljene na proizvod i računala putem radio frekvencije. U tim slučajevima, oznaka predstavlja bazu podataka koja se ažurira tijekom prolaza proizvoda (oznake) kroz pogon te je moguće u svakom trenutku provjeriti povijest informacija vezanih uz konkretan proizvod. Naravno, takvi sustavi umreženi su sa MES sustavom te omogućavaju efikasnije upravljanje proizvodnjom.



Slika 21. Princip rada RFID sustava [19]

U ovom radu raspoloženi su podacima koji su snimljeni ručno te su dostavljeni od treće strane. Dakle, nije moguće provesti detaljniju kontrolu nad dobivenim podacima te biti siguran u reprezentativnost istih, međutim smatrat će se dovoljno kvalitetnim za provedbu ovog tipa analize. Također, s obzirom na to da su se prilikom analiziranja toka materijala određene radne stanice integrirale, u vremenskoj analizi je prikazano više radnih stanica i s njima povezana prosječna vremena. Podaci o prosječnim vremenima (aritmetička sredina) trajanja aktivnosti dani su u tablici u nastavku.



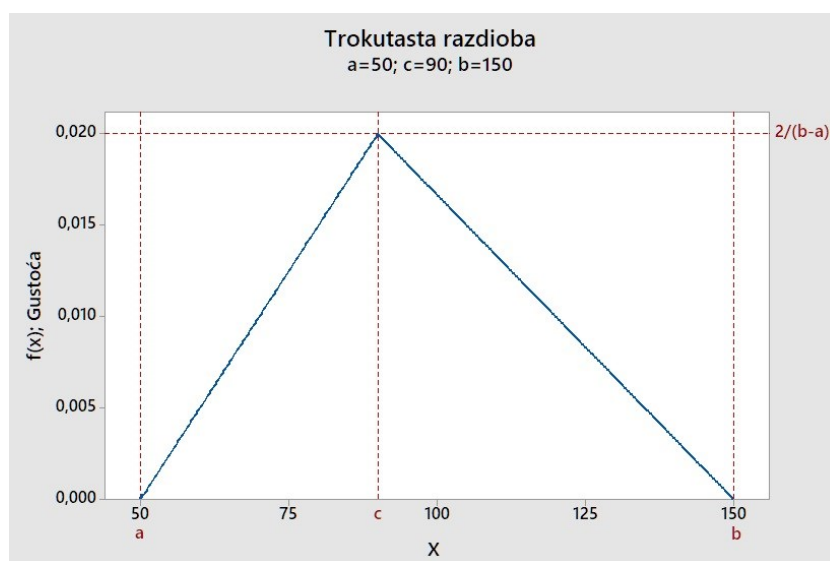
Tablica 3. Prosječna vremena trajanja operacija

Mjesto rada	Operacija	Vrijeme trajanja [h:min:s]
Lasersko rezanje lima	6001 Rezanje laserom	1:05:40
Krojenje pozicija za spajanja i ravnanje	6006 Bušenje, upuštanje, urezivanje rupa	0:18:00
Savijanje pozicija	6011-6118	1:53:30
Međuskladištenje	-	0:04:00
Izrada podsklopova	6015-6020, 6027, 6095-6126, 6051	1:51:00
Ručno zavarivanje	6008, 6026, 6029, 6042,	1:47:10
Zavarivanje robotom	6043	0:04:00
Brušenje i odmašćivanje	6007, 6046-6049, 6054,6096,6114,6115	1:30:30
Sačmarenje i pjeskarenje	6010, 6055-6061	1:05:00
Bojanje, lakiranje, izrada obloga	6065-6068,6106, 6084-6089	1:36:00
Montaža, pakiranje, sortiranje	6077,6078	2:00:00
Dorađivanje	6053	0:02:00
Slaganje, sortiranje, transport pozicija	6120	0:22:00

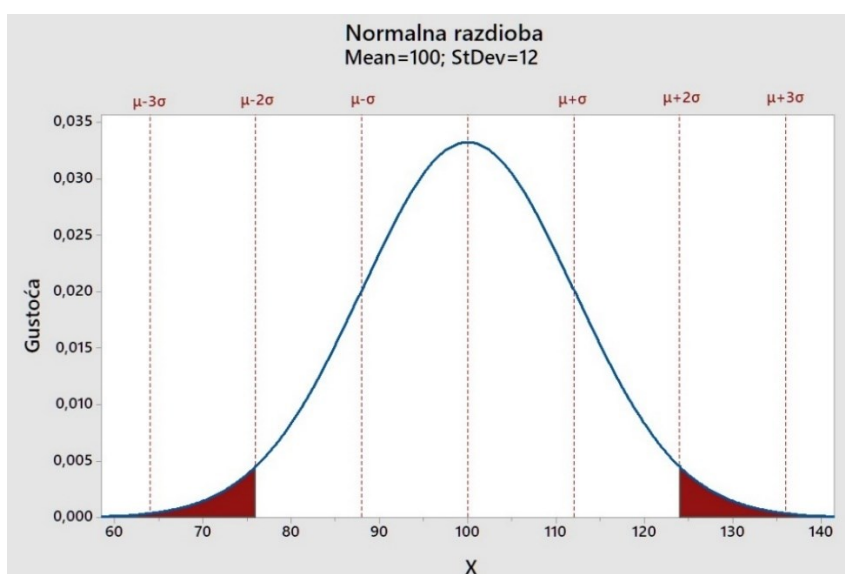
Navedena vremena koristit će se prilikom analize na način da će se pretpostaviti određene razdiobe. Za aktivnosti transporta i međuskladištenja pretpostavit će se normalna razdioba dok će se kod aktivnosti koje se obavljaju na ostalim radnim stanicama pretpostaviti trokutasta razdioba zbog jednostavnosti definiranja.

Tablica 4. Razdiobe i njeni parametri

Razdioba	Parametar	Značenje
Normalna	$\mu$	Očekivana vrijednost
	$\sigma$	Standardna devijacija
Trokutasta	a	Minimalna vrijednost
	b	Maksimalna vrijednost
	c	Najučestalija vrijednost (mod)



Slika 22. Primjer trokutaste razdiobe s proizvoljno zadanim parametrima (a=50, b=150, c=90)

Slika 23. Primjer normalne s proizvoljno zadanim parametrima ( $\mu=100$ ,  $\sigma=12$ )

Prilikom pretpostavljanja, prikazana vremena bit će iskorištena kao prosječna vrijednost dok će se standardna devijacija izračunati koristeći se iskustvenom vrijednošću koeficijenta varijacije. Empirijski podaci korišteni u sličnim analizama govore da je prosječna vrijednost koeficijenta varijacije između 12 i 15 % pa će se u ovoj analizi uzeti vrijednost koeficijenta varijacije od 12 %.

**Tablica 5. Izračun parametara trajanja operacija**

Operacija	Aritmetička sredina [h:min:s]	Koeficijent varijacije	Standardna devijacija [h:min:s]
Krojenje pozicija za spajanje i ravnanje	0:18:00	12%	0:02:09
Lasersko rezanje lima	1:05:40	12%	0:08:28
Savijanje pozicija	1:53:30	12%	0:14:06
Međuskladištenje	0:04:00	12%	0:00:29
Izrada podsklopova	1:51:00	12%	0:13:19
Ručno zavarivanje	1:47:10	12%	0:13:01
Zavarivanje robotom	0:04:00	12%	0:00:29
Brušenje i odmaščivanje	1:30:30	12%	0:11:18
Sačmarenje i pjeskarenje	1:05:00	12%	0:07:48
Bojanje, lakiranje, izrada obloga	1:36:00	12%	0:11:31
Montaža, pakiranje, sortiranje	2:00:00	12%	0:14:24
Dorađivanje	0:02:00	12%	0:00:15
Slaganje, sortiranje, transport pozicija	0:22:00	12%	0:02:38

Prikazana vremena koristit će se u izgradnji modela u programu AnyLogic. Svaka pojedina aktivnost opisat će se pomoću tzv. 'Delay' bloka odnosno bloka odgode vremena. Na taj način omogućeno je unošenje izračunatih podataka o vremenima trajanja pojedinih aktivnosti.

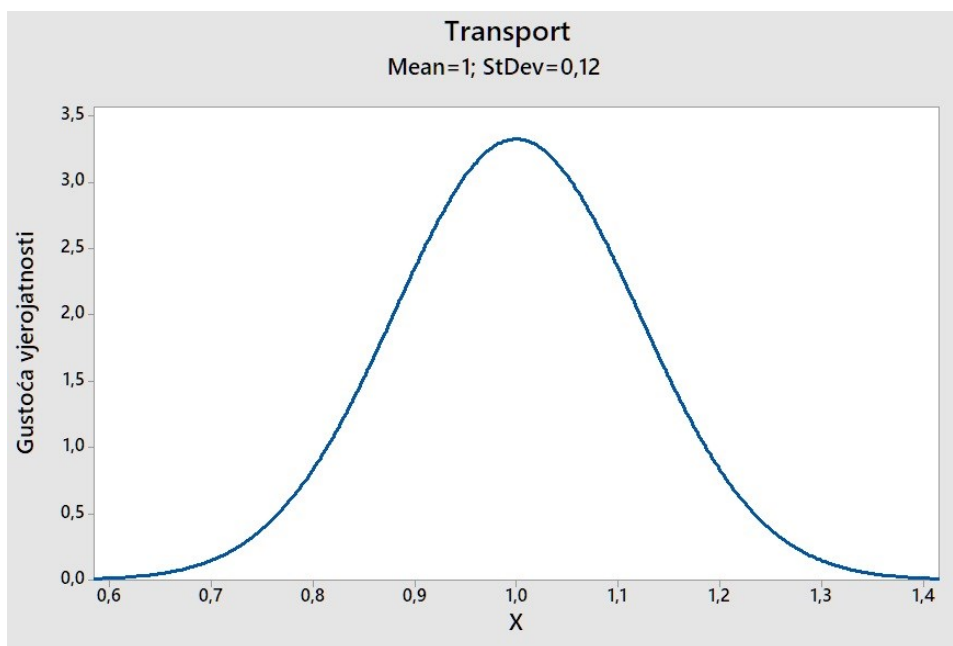
Ono što u tablici iznad nije napisano su vremena transporta između stanica. Kao što je već rečeno, za vremena transporta pretpostavit će se normalna razdioba, a srednja vrijednost svakog transporta procijenjena je na jednu minutu. Koristeći se istim koeficijentom varijacije, standardna devijacija za svaki transport iznosi 0,12 minuta odnosno 7,2 sekunde.

**Tablica 6. Parametri vremenskih razdioba svih operacija**

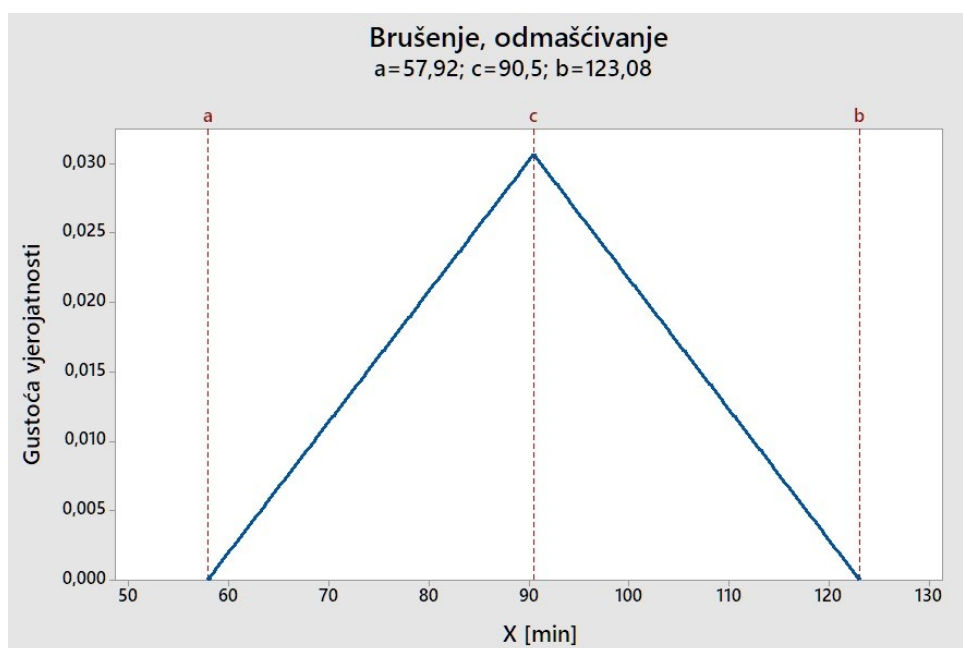
Operacija	Raspodjela	$\mu$	$\sigma$	a	b	c
<b>Krojenje pozicija za spajanje i ravnjanje</b>	Trokutasta			0:11:31	0:24:29	0:18:00
<b>Lasersko rezanje lima</b>	Trokutasta			0:42:02	1:29:19	1:05:40
<b>Savijanje pozicija</b>	Trokutasta			1:12:39	2:34:22	1:53:30
<b>Međuskладиštenje</b>	Normalna	0:04:00	0:00:29			
<b>Izrada podsklopova</b>	Trokutasta			1:11:02	2:30:58	1:51:00
<b>Ručno zavarivanje</b>	Trokutasta			1:18:35	2:25:45	1:47:10
<b>Zavarivanje robotom</b>	Trokutasta			0:02:32	0:05:26	0:04:00
<b>Brušenje i odmaščivanje</b>	Trokutasta			0:57:55	2:03:01	1:30:30
<b>Sačmarenje i pjeskarenje</b>	Trokutasta			0:41:36	1:28:24	1:05:00
<b>Bojanje, lakiranje, izrada obloga</b>	Trokutasta			1:01:31	2:10:32	1:36:00
<b>Montaža, pakiranje, sortiranje</b>	Trokutasta			1:16:48	2:43:12	2:00:00
<b>Dorađivanje</b>	Trokutasta			0:01:17	0:02:43	0:02:00
<b>Slaganje, sortiranje, transport pozicija</b>	Trokutasta			0:14:01	0:29:55	0:22:00
<b>Transport</b>	Normalna	0:01:00	0:00:07			

S obzirom da se raspolaže samo prosječnim vremenima trajanja aktivnosti, minimalne i maksimalne vrijednosti trokutastih razdioba (a i b) izračunate su dodavanjem i oduzimanjem tri standardne devijacije od prosječne vrijednosti. Na taj način nastoji se osigurati da sve vrijednosti koje se izmjere za te aktivnosti budu opisane definiranom razdiobom.

Primjeri dijagrama normalne i trokutaste razdiobe nekih od operacija prikazani su na slikama 24. i 25.

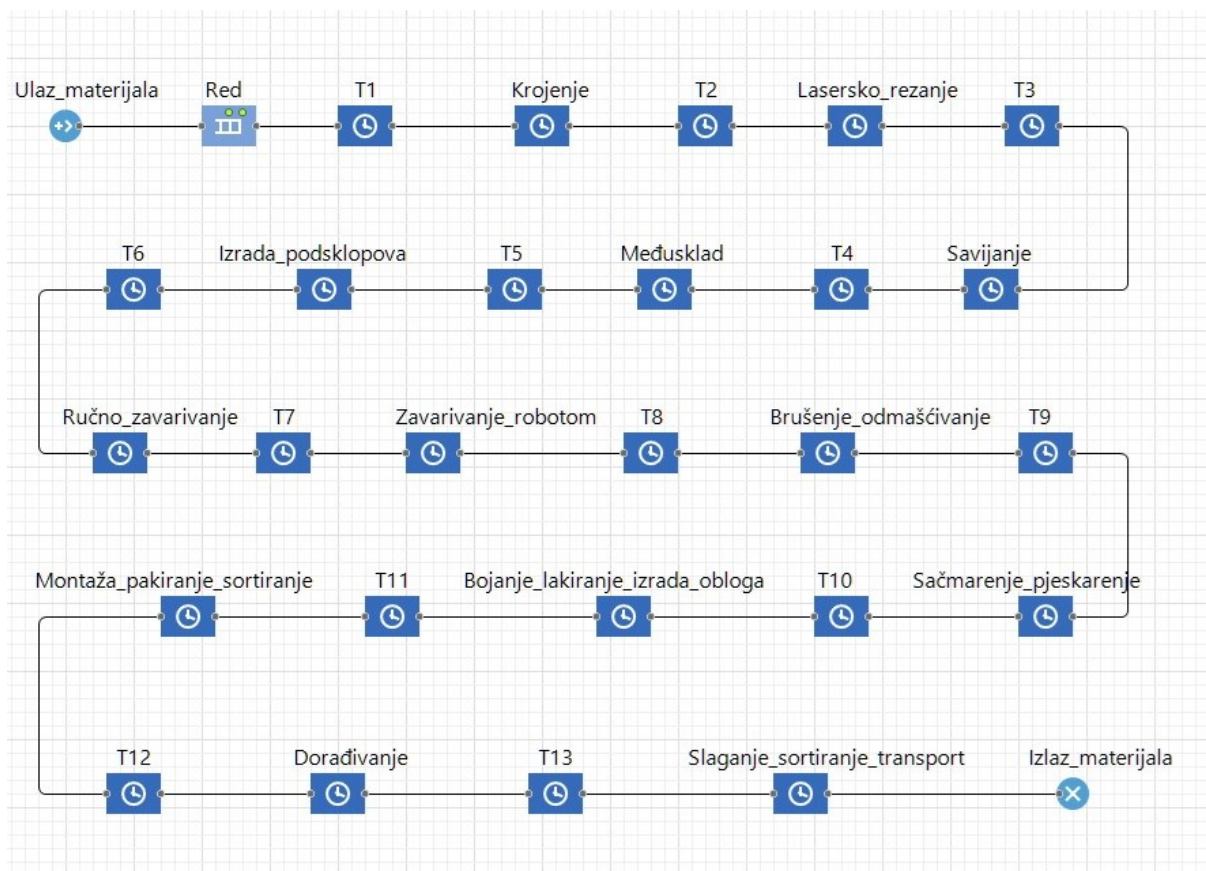


Slika 24. Normalna razdioba operacije transporta



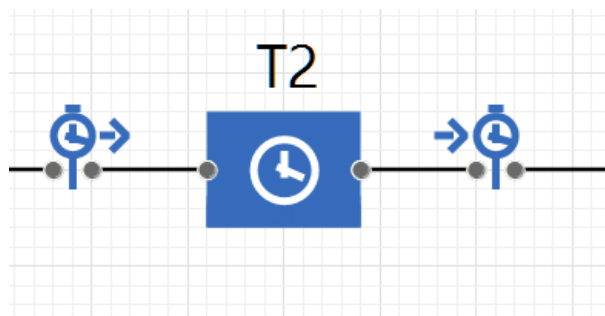
Slika 25. Trokutasta razdioba operacije Brušenje i odmaščivanje

Prilikom definiranja svakog modela unutar spomenutog softvera, potrebno je započeti model sa blokom 'Source', što u ovom slučaju predstavlja ulaz materijala u proces, te završiti model blokom 'Sink' što ovdje predstavlja izlaz materijala.



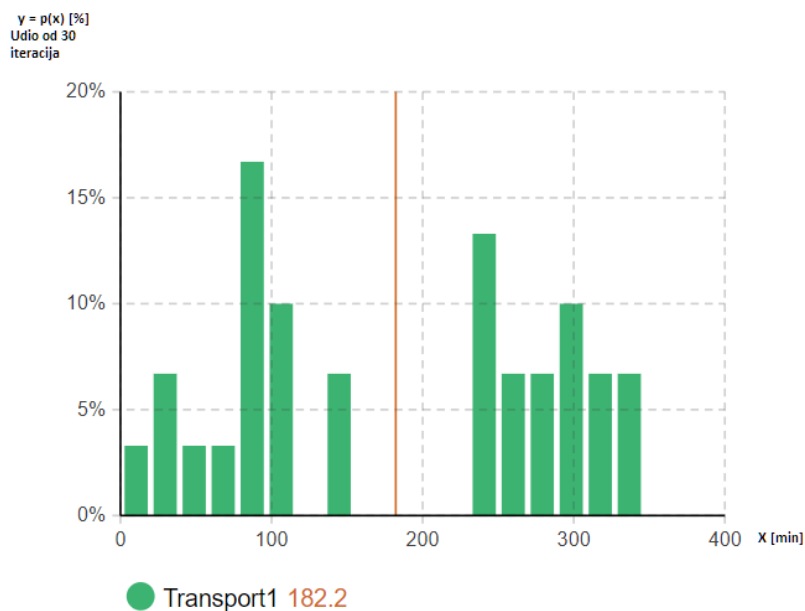
Slika 26. Model proizvodnog procesa u programu AnyLogic

Kako bi se analizirala vremena u programu, potrebno je na blokove koji se promatraju dodati funkcije mjerenja vremena. Prije bloka koji se promatra dodaje se blok 'TimeMeasureStart' što označava početak mjerenja vremena te 'TimeMeasureEnd' što označava kraj mjerenja vremena. Dakle, mjeri se vrijeme koje je potrebno da jedan komad prođe kroz određenu aktivnost.

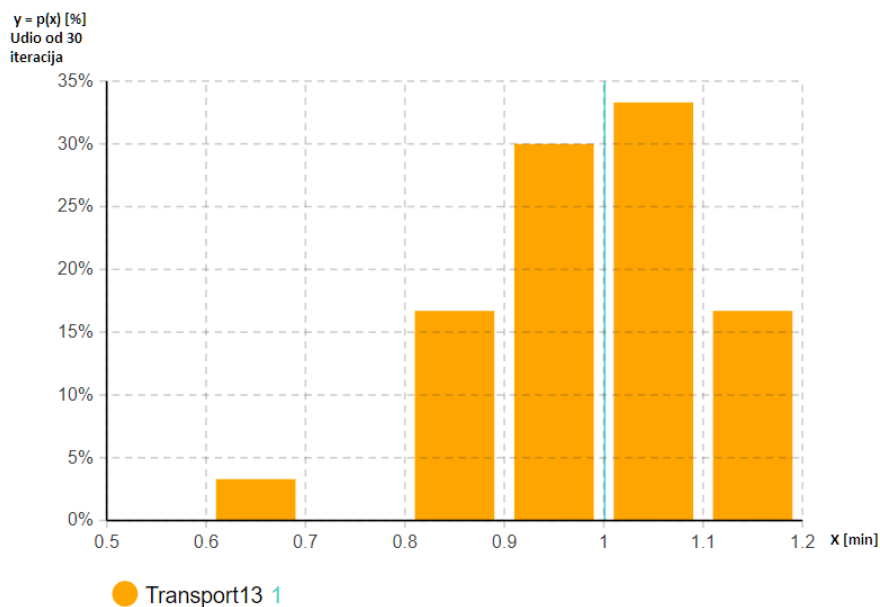


Slika 27. Blok funkcije mjerenja vremena u modelu

Desnim klikom na 'TimeMeasureEnd' otvara se padajući izbornik te mogućnost kreiranja histograma te pozicioniranje istoga u radno polje. Spomenuti histogrami koristit će se prilikom analize vremena aktivnosti.



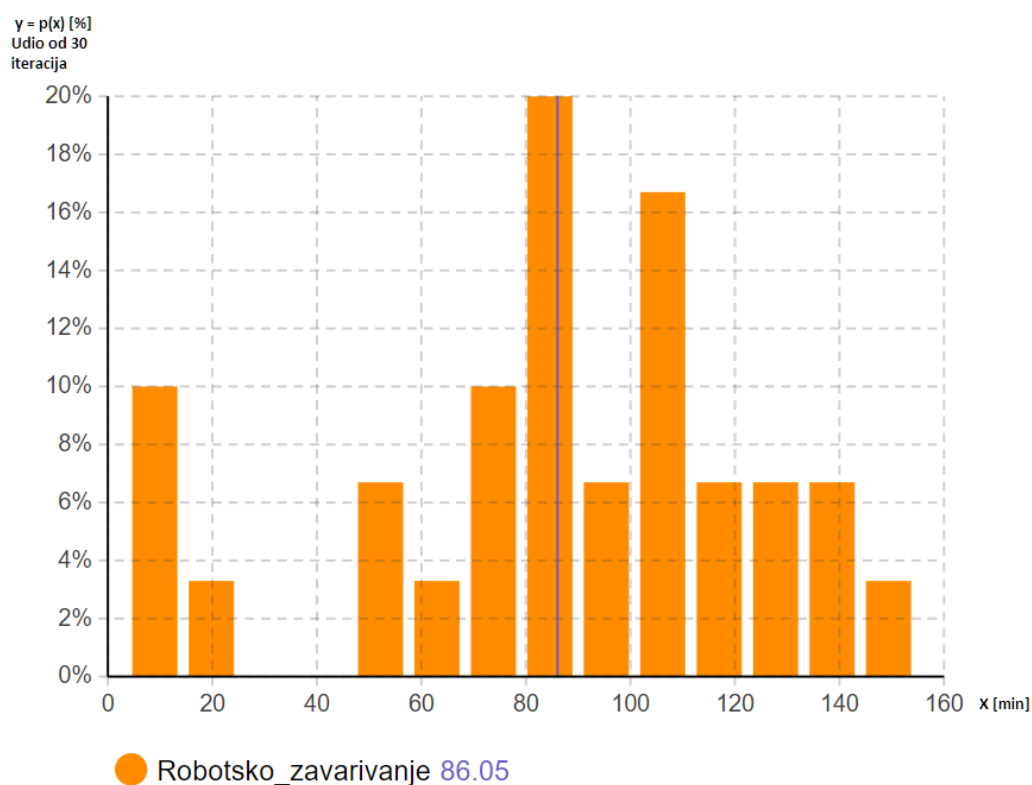
**Slika 28. Histogram trajanja operacije transporta 1**



**Slika 29. Histogram trajanja operacije transporta 13**

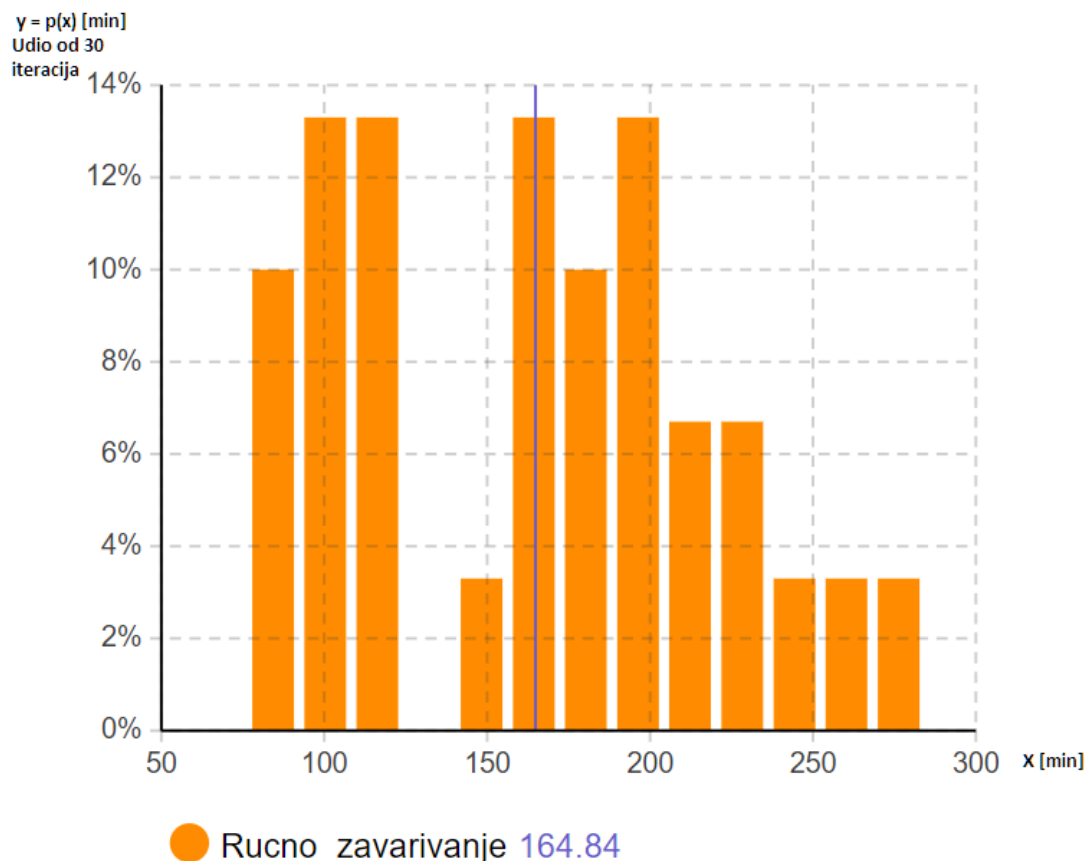
Zanimljivo je usporediti histograme konstruirane pomoću izmjerenih vrijednosti jer se mogu uočiti značajne razlike u vrijednostima. Bez obzira na činjenicu što su oba bloka definirana istim razdiobama i jednakim parametrima, može se uvidjeti značajna razlika u srednjoj vrijednosti te varijaciji. Razlog je taj što trajanje operacije svakog bloka ovisi o idućem bloku te se na ovom primjeru može vidjeti kako puno više čeka kako bi se izvršio transport između ulaza i krojenja nego što je to slučaj između stanice doručivanje i slaganje, sortiranje, transport. Dakle, ukoliko je duljina trajanja narednog bloka puno veća u odnosu na prethodni blok, naredni blok diktira duljinu trajanja prethodnog bloka. U ostvarenim razlikama dolazi do čekanja što se u svakom slučaju nastoji eliminirati.

U nastavku će se usporediti histogrami robotskog i ručnog zavarivanja.



Slika 30. Histogram trajanja operacije robotskog zavarivanja





Slika 31. Histogram trajanja operacije ručnog zavarivanja

Usporedbom ova dva dijagrama može se zaključiti kako je vrijeme trajanja kod robotskog zavarivanja predvidivo nego u odnosu na ručno zavarivanje s obzirom da očekivana vrijednost ostvaruje u 20 % slučajeva dok se kod ručnog zavarivanja ostvaruje u 14% slučajeva. To je logično s obzirom da je tehnološko vrijeme kod automatiziranih rješenja praktički konstantno i ovisi samo o varijacijama u proizvodu.

Nadalje, ukoliko bi se ovi podaci koristili za analizu isplativosti primjene robotskog zavarivanja u ovom procesu, bilo bi potrebno razmatrati i duljinu zavara odnosno prosječnu brzinu zavarivanja s obzirom na izračunate podatke. U tom slučaju, prosječna brzina robotskog zavarivanja bi se usporedila sa prosječnom brzinom ručnog zavarivanja. Izračunom razlike između tih dvaju vremena dobio bi se uvid u prosječnu uštedu vremena po jednom komadu što bi se daljnjom analizom pretvorilo u novčanu uštedu te na temelju toga bi se mogla donijeti odluka o implementiranju robotskih rješenja zavarivanja.

Kao što su se u ovom primjeru analizirale spomenute operacije, tako bi se mogla analizirati svaka operacija pomoću AnyLogic softvera. Nakon analize svake operacije moglo bi se

definirati događa li se određena operacija unutar definiranog intervala te koliko stvarna vremena odstupaju od predviđenih.

Također, sve dobivene podatke i zaključke treba provjeriti u samom pogonu te pronaći temeljne uzroke velikih odstupanja. Na taj način, moguće je sustavno poboljšavati tok materijala uklanjanjem uskih grla, od najvećeg prema najmanjemu.

S obzirom da se u ovom modelu nalazi 13 radnih stanica te jednak broj transporta između stanica, analiza svakog pojedinog bloka bila bi kompleksnija. Posljedično, ovaj model može se koristiti kako bi se usporedila prosječna vremena trajanja pojedinih operacija sa prosječnim vremenima trajanja istih operacija pomoću eventualnih automatiziranih rješenja. Takvom analizom dolazi se do uvida koliko je vremena moguće uštedjeti ukoliko se neka od operacija automatizira.

Naravno, u procesu usporedbe moguće je i uvidjeti koliko se doista vremena može uštedjeti u cijelom procesu jer kao što je već spomenuto, brzina izvođenja svake operacije ovisi o prethodnoj i sljedećoj. Primjerice, ukoliko se neka operacija skрати za jednu minutu, ne mora značiti da će se vodeće vrijeme skratiti za jednu minutu s obzirom da u nekoj od narednih operacija može doći do čekanja.

### **4.3. POTENCIJAL I MOGUĆA RJEŠENJA ZA POBOLJŠANJE PROCESA**

Jedno od rješenja koje bi se definitivno moglo iskoristiti u ovom slučaju su primjena RFID sustava praćenja toka materijala u pogonu. Proizvodi u ovom primjeru su dovoljne veličine te adekvatnog materijala na koji bi se mogla prilijepiti RFID oznaka. Primjenom spomenutog rješenja uvelike bi se smanjila mogućnost manipulacije mjerenja vremena operacije te bi se omogućilo povezivanje praćenja proizvodnje sa MES sustavom. Na taj način mogao bi se jednostavnije analizirati tok materijala te lakše detektirati usko grlo u proizvodnji.

Nadalje, ukoliko se pretpostavi da se tok materijala optimirao, rješenje koje dolazi do izražaja je automatiziranje transporta materijala između stanica. Primjerno automatiziranih konvejera zasigurno se smanjuje vrijeme trajanje transporta, smanjuje se potreba za radnom snagom te se sa većom sigurnošću može predvidjeti tok materijala s obzirom da je vrijeme trajanja operacije puno manje podložno devijacijama. Također, jedno od benefita primjene ovog rješenja je i mogućnost stabilnog postavljanja RFID antene odnosno čitača koji bi pratio signale oznaka prilijepljenih za proizvode ili poluproizvode u pogonu.

Kombinacijom tih rješenja, ostvaruje se bolja sljedivost procesa tj. postiže se efikasnija i brža identifikacija nesukladnosti na poluproizvodima. Korištenjem takvih sustava omogućeno je i prikupljanje informacija vezano uz proizvodnju od same nabave sirovine i dijelova do praćenja proizvodnje i distribucije. Posljedično, pravovremenom identifikacijom nesukladnosti prevenira se nastavak izvođenja pogrešnih operacija i stvaranje nesukladnih proizvoda, što naravno donosi uštede vremena i novca. Također, moguće je analizirati kvalitetu rada pojedinog radnika s obzirom da se upotrebom takvih sustava omogućava uvid u informacije tko je radio određenu operaciju, kada i gdje se operacija izvodila te koliko je dugo trajala.



**Slika 32. Primjer automatiziranog konvejskog sustava [20]**

Uz automatizirana konvejska rješenja, postoji još jedna opcija ubrzavanja i standardiziranja takta transporta. Radi se o inovativnim rješenjima primjene AGV (engl. *Automated Guided Vehicle*) vozila koja se mogu zapravo nazivati i robotima. Automatizirana vođena vozila su, kako sami naziv govori, vozila koja autonomno prevoze teret po prethodno definiranim putanjama kretanja. Putanje se najčešće definiraju postavljanjem crne magnetne trake na podni dio prostora po kojem se ova vozila kreću. AGV vozila pomoću ugrađenog osjetnika prate magnetnu traku te prevoze teret između lokacija. Budući da su to inovativna rješenja, AGV

vozila imaju mogućnosti povezivanja i na RFID sustav te se na taj način ujedno može kvalitetno pratiti tok proizvodnje i vremena transporta.

Nadogradnjom AGV rješenja nastala su AMR (engl. *Autonomous Mobile Robot*) rješenja koja su slična, ali ne i ista. Glavna prednost AMR robota je ta što su takvi roboti autonomni na razini da mogu samostalno određivati putanju kretanja. Dakle, AMR roboti se kreću do odredišta te paralelno izbjegavaju prepreke i odabiru najbolju putanju dok je kod AGV sustava putanja prethodno definira i ne mijenja se. Naravno, AGV roboti opremljeni su osjetnicima koji detektiraju prepreke, no kad sustav detektira prepreku robot se zaustavi i čeka da se prepreka makne. Uz mogućnost autonomnog definiranja putanja i zaobilaska prepreka, AMR roboti fleksibilniji su na promjene puteva. Dok je kod AMR robota dovoljna mala softverska promjena u sustavu kako bi se promijenio ili definirao novi put, AGV roboti zahtijevaju kompleksnije softverske, ali i infrastrukturne promjene.



**Slika 33. Primjer AMR vozila kompanije Gideon Brothers [22]**

Nadalje, točnost i preciznost u radu robota prilikom zavarivanja je neupitna pa bi se nakon analize isplativosti definitivno trebalo razmisliti o implementiranju robotskih rješenja na pozicijama zavarivanja. Takvi roboti bi zahtijevali značajne kapitalne investicije, no njihova dugoročna isplativost je gotovo zagarantirana.

Kao kod stanica zavarivanja, tako i kod stanica savijanja i sačmarenja postoji mogućnost primjene automatiziranih rješenja. Jednako kao i kod zavarivanja, preciznost u radu i točnost u vremena trajanja aktivnosti je izrazito veća nego kod ljudskog rada pa bi se i ovo rješenje moglo naći u vrhu prioriteta. Također, automatizirani sustavi sačmarenja omogućavaju i povezivanje sa automatiziranim konvejskim sustavima što je i dodatan benefit jer bi se na taj način mogao automatizirati veliki dio proizvodnog procesa.

Posljedica primjene spomenutih automatiziranih sustava bila bi i standardiziranje takta proizvodnje. Nadalje, ukoliko bi operacije bile automatizirane, trajanje transporta između operacija, sljedeći spomenute pretpostavke, bilo bi ujednačeno. U idealnom slučaju, distribucija i srednja vrijednost trajanja transporta izgledala bi kao na slici 28. te bi razlika u srednjoj vrijednosti transporta na slikama 28. i 29. bila drastično manja.



**Slika 34. Automatizirani proces sačmarenja [21]**

Što se tiče vrha automatizacijske piramide, svakako bi bilo dobro razmotriti implementiranje nekog od ERP sustava. Naravno, za odluku o tome potrebno je konzultirati se sa upravom poduzeća te promotriti dugoročne planove poduzeća te kapitalne mogućnosti poduzeća. Kao što je već spomenuto u radu, ERP sustav bavi se prikupljanjem podataka iz svih odjela pa bi bilo poželjno da se prije implementacije samog ERP sustava omogući adekvatno prikupljanje podataka iz proizvodnje. Na taj način mogao bi se iskoristiti puni potencijal ERP sustava dok bi se implementacija ERP sustava bez omogućavanja kvalitetnog MES sustava te

automatiziranih rješenja na nižim razinama automatizacijske piramide mogla smatrati uzaludnim.

Sumarno, prijedlog hodograma implementacije rješenja u svrhu povećanja efikasnosti poduzeća izgledao bi kao na slici 35. Redosljed implementacija je predložen razmišljajući na način da svako naredno rješenje nadopunjuje prethodno te povećava iskoristivost istog. Primjena RFID sustava smatra se najjednostavnijom i najjeftinijom pa je iz tog razloga stavljena na početak hodograma, a primjenom tog rješenja mogle bi se odmah detektirati i eliminirati grube greške.



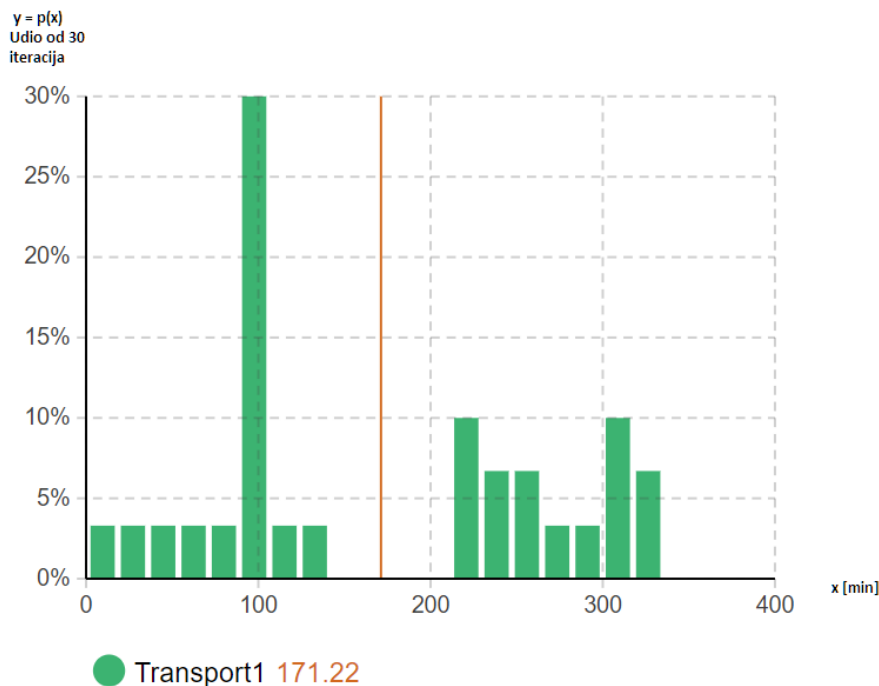
**Slika 35. Hodogram implementacije rješenja**

#### 4.3.1. Simulacija novog stanja

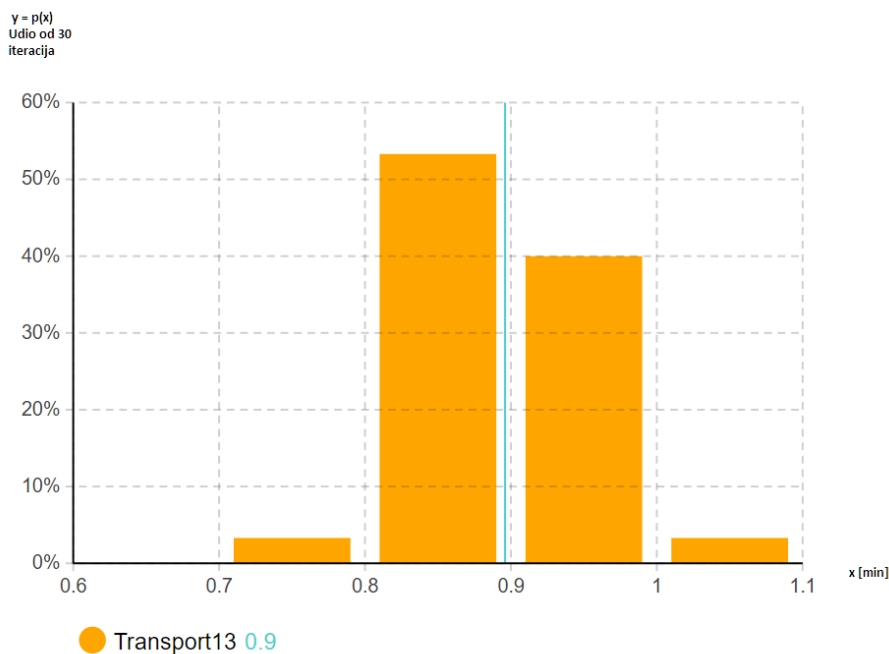
Korištenjem definiranog modela, može se simulirati novo stanje u pogonu nakon implementacije nekih od rješenja. Na taj način, može se provesti usporedba novog (potencijalnog) stanja i trenutnog stanja.

Pretpostavit će se nova vremena transporta smatrajući da su se implementirala rješenja koja automatiziraju proces transporta između radnih stanica. Nova vremena transporta mogu se potom usporediti sa starim. Za nova vremena transporta pretpostavit će se također normalna raspodjela, ali sa 10 % manjom prosječnom vrijednosti uslijed skraćivanja transportnih puteva. Također, standardna devijacija za spomenutu razdiobu je značajno manja pa će se pretpostaviti da je koeficijent varijacije sada 6 % u odnosu na prijašnjih 12 %.

Za operaciju ručnog zavarivanja i sačmarenja koristit će se iste razdiobe, ali sa 20% manjom srednjom vrijednosti te također sa koeficijentom varijacije od 6 %.



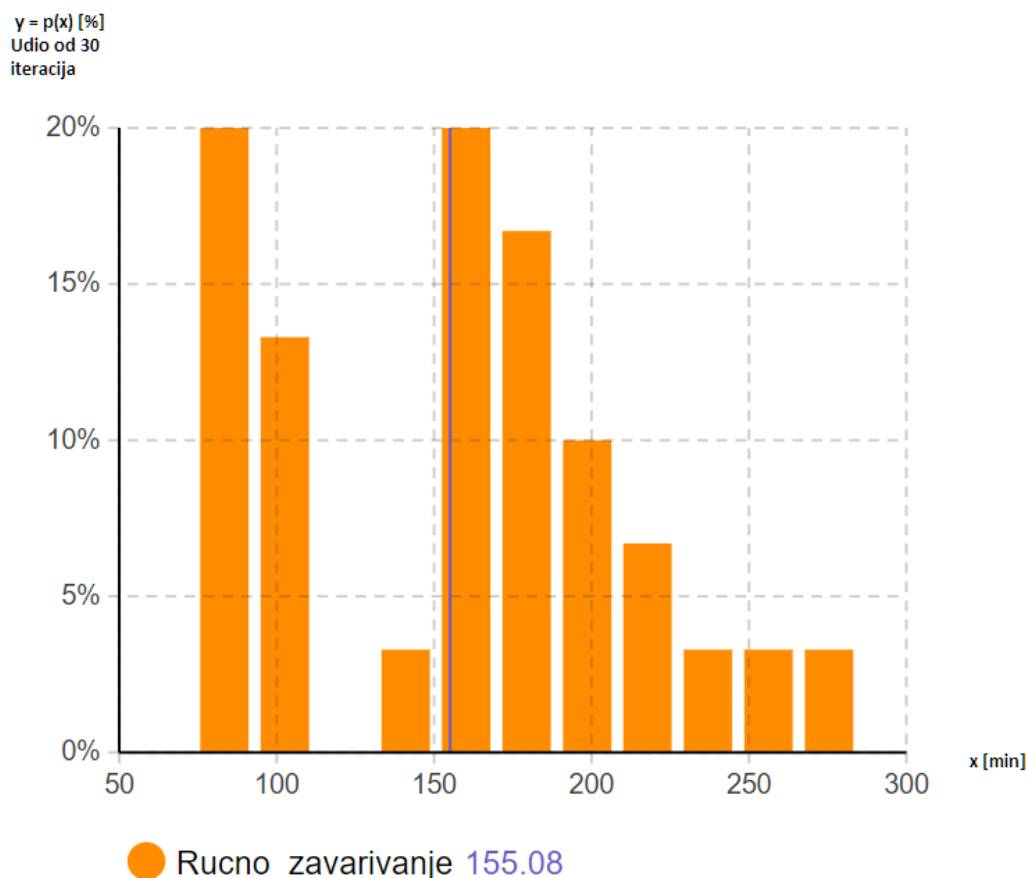
Slika 36. Histogram trajanja operacije transporta 1 nakon implementacije rješenja



Slika 37. Histogram trajanja operacije transporta 13 nakon implementacije rješenja

Usporedbom ova dva histograma sa histogramima na slici 28. i 29. može se doći do zaključka kako je doista prosječno vrijeme trajanja transporta manje za otprilike 10 %. Ono što je važnije u ovom slučaju je smanjenje varijacije, odnosno značajno više izmjerenih vremena transporta

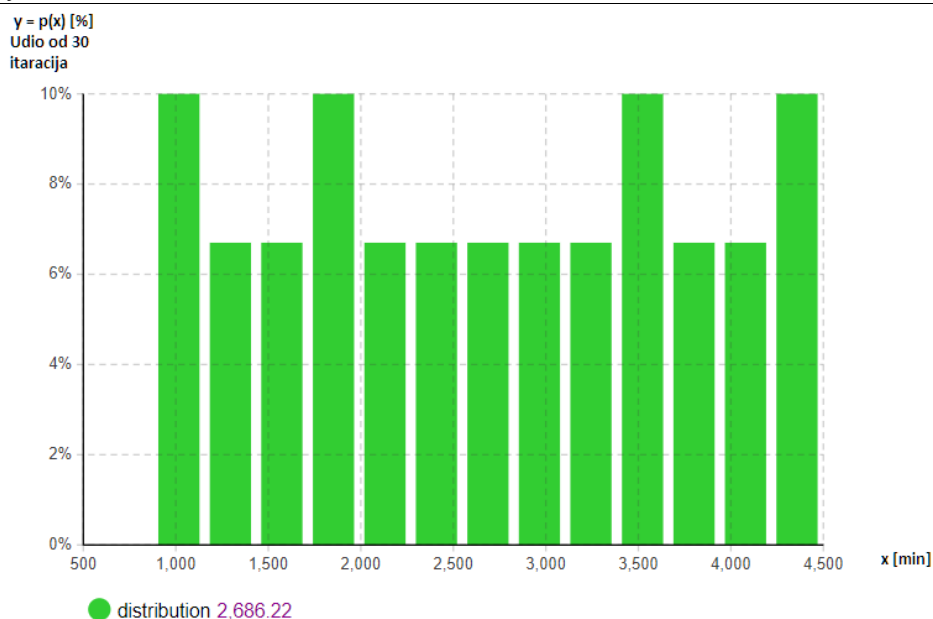
T1 manjih od prosječne vrijednosti u odnosu prije implementacije rješenja. Također, i dalje se uočava značajno veća prosječna vrijednost transporta T1 u odnosu na T13 što ponovno potvrđuje prethodno rečeno da trajanje izvođenja svake operacije ovisi o prethodnoj odnosno narednoj operaciji. S tim rečeno, u nastavku poboljšavanja procesa bilo bi idealno posvetiti se optimiranju operacije koja slijedi nakon transporta T1 tj. operacije krojenja.



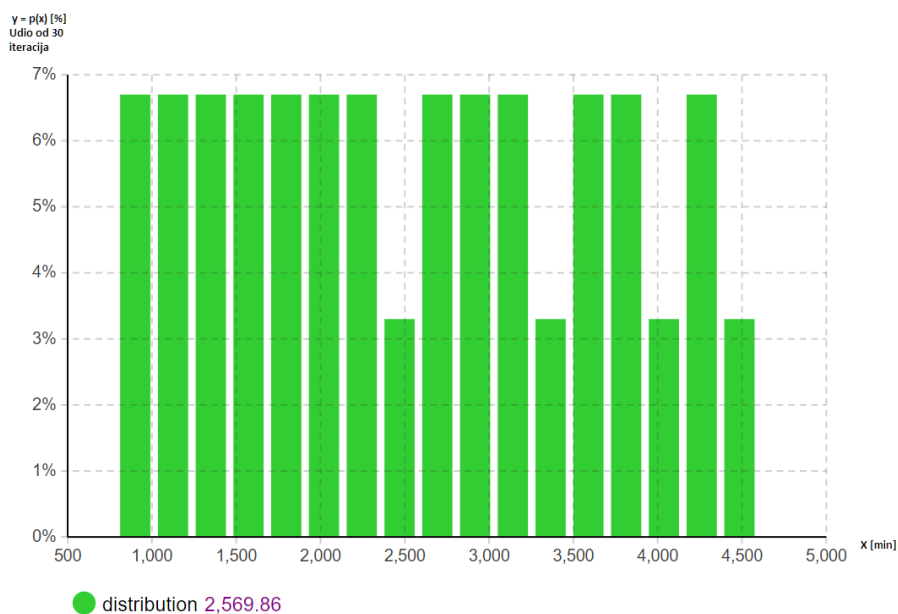
**Slika 38.** Histogram trajanja operacije ručnog zavarivanja nakon implementacije rješenja

Usporedbom ovoga histograma s onim na slici 31., također se može zaključiti kako je srednja vrijednost prosječno manja za 10 %. Također, veliku razliku čine vrijednosti udjela vremena u marginalnim dijelovima odnosno puno je veći udio vremena koja su puno manja od srednje vrijednosti i obrnuto.





**Slika 39. Histogram vodećih vremena prije implementacije rješenja**



**Slika 40. Histogram vodećih vremena nakon implementacije rješenja**

Usporedbom histograma vodećih prije i nakon implementacije rješenja zaključuje se kako je prosječno vodeće vrijeme za otprilike 10 % manje, ali uslijed operacija koje i dalje uzrokuju čekanja (uska grla) ne može se reći kako su se devijacije vremena značajno poboljšale. Dakle, potrebno je detaljno provesti analizu te provesti optimiranje novih kritičnih operacija kako bi se uz smanjenje prosječne vrijednosti dobilo značajnije poboljšanje u vidu odstupanja vodećih vremena od prosječne vrijednosti.

## 5. ZAKLJUČAK

Prilikom kontroliranja i nadgledanja svakog proizvodnog procesa nastoji se maksimalno uštedjeti vrijeme i novac. Razvojem inovativnih tehnologija baziranih na konceptu Industrije 4.0 nastala su mnoga rješenja koja uvelike olakšavaju kontrolu i optimiranje proizvodnih procesa. Kako bi proces bio maksimalno sljediv i kontroliran, teži se implementiranju informacijskih sustava. Informacijski sustavi sami po sebi nisu efikasni ukoliko se u njima ne unose adekvatne informacije koje mogu biti iskorištene na pravilan način pa je potrebno pobrinuti se da se u samom pogonu implementira što više digitalnih i automatiziranih rješenja. Svaki proces implementacije zahtijeva kvalitetnu pripremu i analizu te definiranje koja rješenja je najbolje i kada implementirati. Proces implementacije najbolje je započeti implementacijom rješenja koja su najjednostavnija i najjeftinija te omogućavaju uklanjanje grubih grešaka u procesu proizvodnje.

U prikazanom primjeru, može se uvidjeti kako je proizvodni proces kompleksan sustav u kojem ne postoji niti jedan faktor koji je potpuno neovisan o ostalim. S obzirom na to, nakon prvotne implementacije RFID sustava, idealno je izgraditi simulacijski model pomoću kojeg se može analizirati proizvodni proces te odrediti koje su operacije kritične (uska grla) koristeći se pouzdanim podacima. Nakon definiranja kritičnih operacija, potrebno je provesti analizu te, uz klasičnu optimizaciju procesa, izabrati neko od rješenja baziranih na konceptu Industrije 4.0 koja donose značajne uštede. Najveća prednost korištenja simulacijskog modela je ta što se može manipulirati potencijalnim rješenjima te dobiti uvid u razlike nakon implementacije bez bilo kakvih stvarnih promjena u samom pogonu.

Kako se tehnologija razvija strahovitom brzinom, gotovo svakim danom nastaju nova rješenja. Kao što je rečeno, puno je lakše odabrati neko od rješenja ukoliko se prethodno definira konkretan problem koji se nastoji riješiti. Prilikom odabira rješenja, potrebno je provesti cost-benefit analizu te uskladiti dugoročne planove poduzeća sa promjenama u sustavu.

Zaključno, implementacijom novih rješenja povećava se efikasnost i fleksibilnost proizvodnje, ali i otvaraju vrata novim rješenjima. Svaka automatizirana operacija efikasnija je ukoliko se prije i nakon nje odvijaju također automatizirane operacije ili bar operacije sa minimalnim devijacijama.

---

**LITERATURA**

- [1] <https://realpars.com/automation-pyramid/> (datum pristupa 15.2.2022.)
- [2] <https://inpro.hr/zbog-cega-je-erp-u-potreban-efikasan-dms-sustav/> (datum pristupa 5.12.2021.)
- [3] <https://www.omega-software.hr/sto-je-erp-sustav/> (datum pristupa 10.12.2021.)
- [4] <https://gorankrmpotic.eu/it-erp-implementacija/koja-je-razlika-izmedu-material-requirements-planning-ili-mrp-i-production-planning-scheduling/> (datum pristupa 5.12.2021.)
- [5] Heizer, J., Render, B., Munson, C.: Operations Management, Sustainability and Supply Chain Management, Pearson, 2016.
- [6] <https://metronik.hr/solutions/mes/> (datum pristupa 20.12.2021.)
- [7] <https://www.erp-information.com/manufacturing-execution-system.html> (datum pristupa 20.12.2021.)
- [8] <https://www.odoo.com/page/mrp-comparison> (datum pristupa 6.1.2022.)
- [9] Elbahri, F. M., Al-Sanjary, O.I., Ali, M. A. M, Naif, Z. A., Ibrahim, O. A., Mohammed M. N.: Difference Comparison of SAP, Oracle, and Microsoft Solutions Based on Cloud ERP Systems: A Review, Malaysia, 2019. (datum pristupa 6.1. 2022.)
- [10] <https://www.proel.hr/robotika/> (datum pristupa 6.1.2022.)
- [11] <https://lider.media/poslovn-scena/tehnopolis/iskustva-hrvatskih-tvrtki-jedan-robot-zamjenjuje-12-radnika-136089> (datum pristupa 7.1. 2022.)
- [12] <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1410> (datum pristupa 7.1.2022.)
- [13] <https://www.inea.hr/produkti/mitsubishi-electric/kolaborativni-roboti/> (datum pristupa 7.1. 2022.)
- [14] <https://www.powermotionstore.com/products/Q45VR2LPQ> (datum pristupa 11.1. 2022.)
- [15] <https://www.spluss.de/en/altm1-modbus-t3-p4116/> (datum pristupa 11.1. 2022.)
- [16] <https://www.cognex.com/products/barcode-readers/fixed-mount-barcode-readers/dataman-150-260-series> (datum pristupa 11.1.2022.)
- [17] <https://www.rokin.tech/post/intelligent-manufacturing-5-examples-of-smart-factories-across-germany> (datum pristupa 11.1.2022.)
- [18] <https://knowledgebase.digitalefqm.com/content/47-bosch-blaichach-plant-bh-p-all-under-one-roof> (datum pristupa 11.1.2022.)

- 
- [19] <https://www.energyshow.com.cn/EN/Co/?CID=13&AID=3> (datum pristupa 5.2.2022.)
- [20] <https://www.westernstorageandhandling.com/conveyor-systems/> (datum pristupa 21.2.2022.)
- [21] <http://www.iasf.co.za/surface-treatment-plants/automated-shot-blasting-machines/> (datum pristupa 21.2.2022.)
- [22] <https://www.gideonbros.ai/strategy/how-to-find-the-best-logistics-robot/> (datum pristupa 23.2.2022.)

---

**PRILOZI**

I. CD-R disc