

# Implementacija Lean Six Sigme u procesu montaže električnih motora

---

**Valentić, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski 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:235:451462>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivan Valentić**

Zagreb, 2022. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Student:

Ivan Valentić

Zagreb, 2022. godina.

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

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću na realizaciji izrade ovog diplomskog rada, stručnim savjetima, vodstvu te iskrenom interesu za dobrobit studenata.

Zahvaljujem gospodinu Marku Šabanu, direktoru proizvodnje poduzeća KONČAR – MES d.d. i svim zaposlenicima unutar poduzeća na ukazanom povjerenju, pruženoj mogućnosti izrade diplomskog rada te odgovorima na sva moja pitanja.

Zahvaljujem svim kolegama na podršci, suradnji i savjetima tijekom godina studiranja.

Zahvaljujem prijateljima Damiru, Mariju, Lovri, Nikoli, Ivanu i Luki na nezaboravnim trenucima tijekom studiranja.

Veliko hvala obitelji koja mi je omogućila studiranje te pružala najveću podršku.

Posebno se želim zahvaliti baki Ani kojoj više neću morati odgovarati na pitanja kada ću završiti svoje studiranje.

Ivan Valentić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-14/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **IVAN VALENTIĆ** Mat. br.: 0069068346

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Implementacija Lean Six Sigme u procesu montaže električnih motora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Implementation of Lean Six Sigma in the electric engine assembly process**

Opis zadatka:

Kompanije danas ulažu značajne resurse kako bi svoje poslovanje učinile konkurentnim. Osim ulaganja u tehnologiju, važno je raditi na unaprjeđenju procesa. Postoje različiti pristupi upravljanju unaprjeđenjima u proizvodnji, a jedan od korištenijih je i Lean six sigma. Iako su pojedinačni pristupi već duže vrijeme poznati i pokazali su značajne rezultate, njihova zajednička primjena još uvijek zahtijeva dodatna istraživanja kako bi se dokazali njihovi sinergijski efekti.

U radu je potrebno:

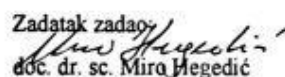
1. Napraviti pregled literature iz Lean six sigma područja.
2. Definirati DMAIC pristup i alate Lean six sigme i objasniti njihovu primjenu.
3. Na temelju primjera montaže električnih motora prikazati primjer primjene Lean six sigme te prikazati poboljšanja.
4. Predložiti digitalna rješenja za poboljšanje rezultata ili simulacijski model.

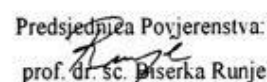
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
29. rujna 2022.

Rok predaje rada:  
1. prosinca 2022.

Predviđeni datum obrane:  
12. prosinca do 16. prosinca 2022.

Zadatak zadao:  
  
dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednik Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
POPIS KRATICA .....	VII
SAŽETAK .....	VIII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
2. LEAN METODOLOGIJA .....	2
2.1. Nastanak i razvoj Lean metodologije .....	3
2.2. Pristupi i alati Lean metodologije .....	5
3. LEAN SIX SIGMA METODOLOGIJA .....	8
3.1. Six Sigma metodologija .....	9
3.2. Lean i Six Sigma .....	12
3.3. Ključne uloge prema Lean Six Sigma sustavu .....	14
4. DMAIC PRISTUP .....	17
4.1. Faza definiranja .....	18
4.1.1. Projektna povelja .....	18
4.1.2. SIPOC dijagram .....	19
4.2. Faza mjerenja .....	21
4.2.1. Dijagram toka .....	21
4.2.2. Pareto dijagram .....	22
4.2.3. Dijagram uzrok-posljedica (Ishikawa dijagram) .....	24
4.3. Faza analize .....	25
4.3.1. Yamazumi dijagram .....	25
4.3.2. Boxplot dijagram (kutijasti dijagram) .....	27
4.4. Faza poboljšanja .....	28

4.4.1. Proces kreativnog dijaloga .....	28
4.4.2. Matrica isplativosti.....	29
4.4.3. Simulacijski model.....	30
4.5. Faza kontrole .....	31
5. LEAN SIX SIGMA PROJEKT .....	31
5.1. O poduzeću .....	32
5.2. Elektromotori i proizvodni proces.....	35
5.3. Lean Six Sigma projekt.....	38
5.3.1. Faza defniranja .....	38
5.3.1.1. Projektna povelja .....	38
5.3.1.2. SIPOC mapa.....	40
5.3.2. Faza mjerenja .....	41
5.3.2.1. Dijagram toka .....	41
5.3.2.2. Pareto dijagram.....	43
5.3.2.3. Dijagram riblje kosti (Ishikawin dijagram).....	44
5.3.2.4. Analiza potencijalnih problema (PPA analiza).....	45
5.3.3. Faza analize .....	47
5.3.3.1. Boxplot dijagram .....	47
5.3.3.2. Yamazumi dijagram .....	49
5.3.4. Faza poboljšanja.....	52
5.3.4.1. Matrica isplativosti .....	52
5.3.4.2. Poboljšanje 1 .....	54
5.3.4.3. Poboljšanje 2.....	55
5.3.4.4. Poboljšanje 7.....	57
5.3.4.5. Poboljšanje 8.....	58
5.3.5. Faza kontrole .....	60
6. SIMULACIJSKI MODEL.....	64
7. ZAKLJUČAK.....	72
LITERATURA .....	73

**POPIS SLIKA**

Slika 2.1 Ilustracija Lean 5R koncepta razmišljanja [2].....	2
Slika 2.2 7 vrsta gubitaka [5].....	6
Slika 3.1 Broj grešaka na milijun jedinica [10].....	9
Slika 3.2 Gaussova krivulja [10].....	10
Slika 3.3 Normalna distribucija sa i bez pomaka [10].....	10
Slika 3.4 Odnos između Lean principa i Six Sigma modela [12] .....	12
Slika 3.5 Ključne uloge Lean Six Sigma metodologije [15].....	14
Slika 4.1 Faze DMAIC modela .....	17
Slika 4.2 Predložak projektne povelje [izradio autor] .....	19
Slika 4.3 Predložak SIPOC dijagrama [izradio autor prema [19]] .....	20
Slika 4.4 Primjer dijagrama toka [izradio autor].....	22
Slika 4.5 Primjer Pareto dijagrama [izradio autor] .....	22
Slika 4.6 Osnovni izgled dijagrama riblje kosti .....	24
Slika 4.7 Primjer Yamazumi dijagrama [24].....	26
Slika 4.8 Boxplot dijagram [izrada autora prema [25]].....	27
Slika 4.9 Koraci pri definiranju potencijalnih poboljšanja procesa [izrada autora] .....	28
Slika 4.10 Matrica isplativosti [izrada autora] .....	29
Slika 5.1 Zgrada poduzeća Končar - MES.....	32
Slika 5.2 Organizacijska struktura poduzeća Končar – MES [27] .....	33
Slika 5.3 Pokazatelji uspješnosti poslovanja Končar – MES d.d. [27].....	34
Slika 5.4 Elektromotor i njegovi dijelovi [28] .....	35
Slika 5.5 Kočioni motor na skladištu [slika iz proizvodnog pogona].....	36
Slika 5.6 Radna stanica na montažnoj liniji [slika iz proizvodnog pogona] .....	37
Slika 5.7 Vremenski okvir provođenja projekta .....	39
Slika 5.8 SIPOC mapa .....	40
Slika 5.9 Dijagram toka za proces montaže elektromotora .....	41
Slika 5.10 Pareto dijagram radnih stanica .....	43
Slika 5.11 Ishikawin dijagram za identificirani problem .....	44
Slika 5.12 Boxplot dijagram prve radne stanice .....	47
Slika 5.13 Boxplot dijagram druge radne stanice .....	48
Slika 5.14 Boxplot dijagram treće radne stanice.....	48
Slika 5.15 Yamazumi dijagram za promatrani proces.....	51



Slika 5.16 Poboljšanja koja je moguće preporučiti nakon prva tri koraka DMAIC ciklusa ....	52
Slika 5.17 Matrica isplativosti za predložena poboljšanja procesa.....	53
Slika 5.18 Linija za montažu elektromotora [izrada autora] .....	54
Slika 5.19 Radna stanica 1 [izrada autora] .....	55
Slika 5.20 Radna stanica 2 [izrada autora] .....	55
Slika 5.21 Radna stanica 3 [izrada autora] .....	56
Slika 5.22 3D modeli paleta [izrada autora].....	58
Slika 5.23 3D i 2D model okretnog radnog stola [izrada autora] .....	59
Slika 5.24 2D prikaz procesa montaže nakon implementacije poboljšanja .....	60
Slika 5.25 Nova linija za montažu motora tipa AZK.....	61
Slika 5.26 Yamazumi dijagram nakon implementacije poboljšanja.....	62
Slika 5.27 Boxplot dijagram prve radne stanice prije i poslije implementacije poboljšanja ...	63
Slika 5.28 Boxplot dijagram druge radne stanice prije i poslije implementacije poboljšanja .	63
Slika 5.29 Boxplot dijagram treće radne stanice prije i poslije implementacije poboljšanja...	63
Slika 6.1 Računalni model.....	64
Slika 6.2 Podešavanje parametara atoma Source .....	65
Slika 6.3 Podešavanje parametara atoma Queue.....	66
Slika 6.4 Podešavanje parametara atoma Assembler.....	67
Slika 6.5 Podešavanje parametara atoma Server.....	67
Slika 6.6 Model nakon pokretanja simulacije .....	68
Slika 6.7 Rezultati dobiveni pokretanjem simulacije .....	68
Slika 6.8 Verifikacija simulacijskog modela.....	70
Slika 6.9 Validacija simulacijskog modela .....	71

**POPIS TABLICA**

Tablica 2.1 Obilježja i orijentacije tradicionalnih i Lean poduzeća [4] .....	4
Tablica 2.2 Lean alati i metode [izrada autora prema [3],[4]] .....	5
Tablica 2.3 8P-ova Lean metodologije [6] .....	7
Tablica 3.1 Sinergijski učinak Leana i Six Sigme [13] .....	13
Tablica 5.1 Projektna povelja .....	39
Tablica 5.2 PPA analiza.....	46

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis oznake</b>
$LSL$	-	Donja granica zahtjeva (engl. <i>Lower Specification Limit</i> )
$Q_1$	-	Prvi kvartil
$Q_3$	-	Treći kvartil
$t$	(s)	Prosječno vrijeme montaže na radnoj stanici
$t_{sim}$	(s)	Vrijeme montaže dobiveno pokretanjem simulacije
$USL$	-	Gornja granica zahtjeva (engl. <i>Upper Specification Limit</i> )
$X^{max}$	-	Najveća vrijednost niza
$X^{min}$	-	Najmanja vrijednost niza
$\mu$	%	Stupanj iskoristivosti kapaciteta
$\mu_{sim}$	%	Stupanj iskoristivosti kapaciteta dobiven pokretanjem simulacije
$\sigma$	-	Standardna devijacija

## POPIS KRATICA

Kratika	Opis
5R	Pravo vrijeme, Pravo mjesto, Pravi proizvod, Tražena količina, Tražena kvaliteta (engl. <i>Right time, Right place, Right product, Right quantity, Right quality</i> )
5S	Razvrstavati, Postaviti u red, Sjati, Standardizirati, Održavati (engl. <i>Sort, Straghten, Shine, Standardize, Sustain</i> )
6M	Oprema, Metoda, Materijal, Čovjek, Mjerenje, Okolina (engl. <i>Machine, Method, Material, Man power, Measurement, Mother nature</i> )
8P	Svrha, Ljudski kapital, Proces, Povlačenje, Prevencija, Partnerstvo, Okoliš, Savršenstvo (engl. <i>Purpose, People, Process, Pull, Prevention, Partnering, Planet, Perfection</i> )
AZK	Elektromotori s prigradenim elektromagnetskim kočnicama
CNC	Računalno numeričko upravljanje (eng. <i>Computer Numerical Control</i> )
DMADV	Definiranje, Mjerenje, Analiza, Dizajniranje, Promjena (eng. <i>Define, Measure, Analyze, Design, Verify</i> )
DMAIC	Definiranje, Mjerenje, Analiza, Pобољшanje, Kontrola (eng. <i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i> )
DPMO	Pogreške na milijun jedinica (engl. <i>Defects Per Million Opportunities</i> )
EDA	Analiza istraživačkih podataka (engl. <i>Exploratory Data Analysis</i> )
FMEA	Analiza načina kvara i učinaka (engl. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> )
JIT	Točno na vrijeme (engl. <i>Just In Time</i> )
KONČAR MES	Društvo KONČAR – MALI ELEKTRIČNI STROJEVI d.d.
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PPA	Analiza potencijalnih problema (engl. <i>Potential Problem Analysis</i> )
SIPOC	Dobavljač, Ulaz, Proces, Izlaz, Kupac (engl. <i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i> )
SMED	Brza izmjena alata (engl. <i>Single Minute Exchange Of Die</i> )
TIMWOOD	Transport, Zalihe, Pokreti, Čekanje, Prekomjerna proizvodnja, Prekomjerna obrada, Defekti (engl. <i>Transportation, Inventory, Motion, Waiting, Overproduction, Overprocessing, Defects</i> )
TQM	Potpuno upravljanje kvalitetom (engl. <i>Total Quality Management</i> )
VSM	Mapiranje toka vrijednosti (engl. <i>Value Stram Mapping</i> )

**SAŽETAK**

Tema ovog diplomskog rada jest implementacija Lean Six Sigme u procesu montaže električnih motora. Diplomski rad se po svom sadržaju može podijeliti u dva dijela. U prvom dijelu dan je pregled literature iz područja Lean metodologije, Six Sigme te Lean Six Sigma metodologije. Isto tako, definiran je DMAIC pristup te pojedini alati korišteni svakoj fazi pristupa. U drugom dijelu diplomskog rada fokus je na implementaciji Lean Six Sigme u realno okruženje poduzeća KONČAR – MES d.d. U procesu montaže električnih motora proveden je jedan DMAIC pristup pri čemu su korišteni alati opisani u prvom dijelu diplomskog rada. Uz DMAIC pristup izrađena su još i konstrukcijska rješenja nove montažne linije te Lean radnih stanica te simulacijski model.

Ključne riječi: Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, DMAIC, KONČAR – MES d.d.

**SUMMARY**

The topic of this master thesis is implementation of Lean Six Sigma in the electric motor's assembly line. According to its structure, the thesis can be divided in two parts. In the first part an overview of the literature in the fields of Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma methodologies is given. Onwards, the DMAIC data driven quality strategy is defined as well as tools used in each phase of the strategy. The second part of the thesis is focused on implementation of Lean Six Sigma in the real business environment of the company KONČAR – MES d.d. DMAIC strategy and tools described in the first part of thesis were implemented in the process of assembling electric motors. In addition, construction solutions for the new assembly line and Lean workstations were made as well as a simulation model.

Key words: Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, DMAIC, KONČAR – MES d.d.

## 1. UVOD

Steve Jobs, nekadašnji izvršni direktor, „biznismen“, dizajner i suosnivač gigantske tehnološke tvrtke Apple Inc. jednom je rekao: „*Ako točno definirate problem, gotova da imate rješenje*“. Vodeći se tom porukom možemo uvidjeti zašto su Lean upravljanje i Lean six sigma metodologija postale trend u uspješnim poslovnim sustavima današnjice. Na suvremenom tržištu kupcima je omogućen izbor širokog asortimana proizvoda diljem svijeta u samo nekoliko klikova. U nastojanju da se odgovori na stvoreni pritisak globalne konkurencije, poduzeća moraju usvojiti konkurentne i inovativne Lean metode koje u većini slučajeva nastoje naglasiti kvalitetu proizvoda i usmjerenost na kupce.

U ovom diplomskom radu biti će prikazane prednosti uvođenja Lean metodologije u proizvodna poduzeća te primjene Lean Six Sigme u iste. Također je odrađen i praktični dio u kojem je opisana jedna takva primjena Lean Six Sigme na procesu montaže elektromotora u poduzeću Končar MES d.d.

Sadržaj diplomskog rada osim uvoda obuhvaća još šest poglavlja. U prva tri poglavlja definirani su pojmovi Leana, Six Sigme i Lean Six Sigme uz pregled literature. Biti će precizirane same metodologije, njihov nastanak i razvoj te pristupi i metode koje koriste. Četvrti dio rada sastoji se od definiranja DMAIC pristupa te alata koji se koriste u svakoj od faza pristupa, a pobliže će se opisati alati korišteni tijekom samog provođenja projekta u proizvodnom poduzeću.

Peti dio ovog diplomskog rada čini „Lean six sigma green belt“ projekt na temelju primjera montaže električnih motora u pogonu proizvodnog poduzeća. U ovom poglavlju će osim korištenja alata iz DMAIC ciklusa također biti izrađeni i pobliže opisani prijedlozi konstrukcijskih rješenja za poboljšanje procesa kao što su izgled nove montažne linije i radnih stanica na istoj. Šesto poglavlje bit će usmjereno na izradu simulacije montažne linije elektromotora dok će u zaključku biti iznesen kratki pregled cijelog diplomskog rada te zaključci o primjeni Lean Six Sigma metode u proizvodno poduzeće.

## 2. LEAN METODOLOGIJA

Lean metodologija temeljena je na Lean načinu razmišljanja ili Lean proizvodnji te je usmjerena prema reduciranju vremena proizvodnog ciklusa te vremena od zaprimanja narudžbe do krajnje isporuke proizvoda ili usluge kupcu uz istovremeno smanjene gubitke u poslovanju [1]. Cilj uvođenja ovakvog načina proizvodnje u poduzeća je osigurati kvalitetu, točnost i produktivnost kao i stvoriti uvjete za automatizaciju i digitalizaciju unutar poduzeća. U idealnom Lean načinu poslovanja u glavnom fokusu je kupac kojem se na pravom mjestu, u pravom vremenu dostavljaju željeni proizvodi u željenoj količini te sa željenom kvalitetom. Ovakav koncept poslovanja u literaturi se često može pronaći i kao 5R koncept jer 5 elemenata uključuje [2]:

1. Pravo vrijeme — (engl. *Right time*)
2. Pravo mjesto — (engl. *Right place*)
3. Pravi/trazeni proizvod — (engl. *Right product*)
4. Tražena/Željena količina — (engl. *Right quantity*)
5. Tražena/željena kvaliteta — (engl. *Right quality*).



Slika 2.1 Ilustracija Lean 5R koncepta razmišljanja [2]



## 2.1. Nastanak i razvoj Lean metodologije

Japanska automobilska industrija na čelu s Toyotom početkom 80-ih godina prošlog stoljeća zasjela je na tron automobilske industrije pobijedivši američke konkurente kako u svijetu tako i u Americi. Zbog ove činjenica skupina znanstvenika s američkog univerziteta u Massachusettsu (MIT) počinje s proučavanjem poslovanja i proizvodnih procesa u Toyoti. Tijekom istraživanja primijećeno je da zaposlenici Toyote s manje financijskih ulaganja postižu željenu kvalitetu automobila, čine manje grešaka u proizvodnom procesu, smanjuju vremenski ciklus ključnih proizvodnih procesa, posluju s manjim brojem dobavljača te nemaju mnogo materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda u skladištu (JIT).

Voditelj tima znanstvenika, dr.sc. Jim Womack opisao je ovakav model poslovanja terminom „Lean“ ili „Lean proizvodnja“ te kasnije u suradnji sa svojim kolegom Dan Jonesom osniva Lean Enterprise Institut i akademiju koja je svjetski nositelj Lean načina razmišljanja.

Kako bi se dobio uvid u značenje metodologije Lean proizvodnje, važno je razumjeti razlike između masivne ili tradicionalne i Lean proizvodnje a njihova obilježja i orijentacije prikazane su tablicom 2.1.

U usporedbi s tradicionalnim metodama upravljanja, Lean sustav vođenja proizvodnje u mnogočemu je različit. Lean organizacije ne smiju imati krute i teško primjenjive procedure dok se pogreške rješavaju na način da se traži njihov uzrok a ne krivci. U ovakvom sustavu zaposlenici predstavljaju pokretačku snagu i kapital a ne trošak poduzeća te su uz to stimulirani u razvijanju vlastite inicijative u rješavanju problema pri čemu im ograničenja nisu nametnuta od strane hijerarhijske strukture i podjele poslova. Isto tako u Lean poduzećima potiče se sinergija dobivena timskim radom zaposlenih koja ima veće benefite od zbroja pojedinačnih doprinosa pri obavljanju nekog posla. Jedna od najvažnijih značajki Lean poduzeća, ako ne i najvažnija, jest integracija kvalitete u sam sustav i proces proizvodnje dok se u tradicionalnom načinu proizvodnje kvaliteta uglavnom osigurava inspekcijski [3].

	Tradicionalno poduzeće	Lean poduzeće
<b>Obilježja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masivna proizvodnja</li> <li>• Ekonomija velikih razmjera</li> <li>• Striktna podjela poslova</li> <li>• Kontrolni mehanizmi</li> <li>• Klasična organizacijska struktura s naglašenom formalnom organizacijskom hijerarhijom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Male serije</li> <li>• Identifikacija i korištenje konkurentskih prednosti</li> <li>• Standardizacija poslova</li> <li>• Razvoj individualne inicijative i timskoga rada</li> <li>• Preventivna obilježja</li> <li>• Organizacijske strukture temeljene na procesnom pristupu</li> </ul>
<b>Orijentacija</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prema proizvodu</li> <li>• Prema budžetu</li> <li>• Prema funkcijama</li> <li>• Kvaliteta temeljna na inspekciji proizvoda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prema kupcu</li> <li>• Prema potražnji</li> <li>• Prema procesu</li> <li>• Kvaliteta ugrađena u proizvod</li> </ul>

**Tablica 2.1 Obilježja i orijentacije tradicionalnih i Lean poduzeća [4]**

Danas Lean model poslovanja u svijetu primjenjuju mnoge multinacionalne kompanije poput Toyote, Forda, Nokia, Harley Davidson, LG-a, Sonyja i mnogih drugih dok u Hrvatskoj o tome još razmišljaju ili primjenjuju kompanije poput Coca Cole, Dalekovoda, Končara, Brodo Trogira i drugih [4].

## 2.2. pristupi i alati Lean metodologije

Lean metodologija obiluje mnoštvom pristupa alata i metoda koji se koriste u svrhu kontinuiranog poboljšavanja poslovanja poduzeća, no na svim zaposlenicima, a posebice zaposlenicima na rukovodećim pozicijama, je da stečena teoretska znanja primijene na procese unutar poduzeća. Tablicom 2.2 prikazani su neki od najučestalije korištenih Lean alata i metoda te su dana njihova kratka objašnjenja.

Alat/metoda	Objašnjenje
<b>Kaizen</b>	Kontinuirano poboljšavanje procesa.
<b>5S</b>	Metoda organizacije radnog mjesta.
<b>Kanban</b>	Stvarna potrošnja materijala na mjestu potrošnje, usko povezan sa JIT strategijom.
<b>Gemba</b>	Razgledanje mjesta gdje se stvara vrijednost.
<b>Muda</b>	Eliminacija gubiaka.
<b>Poka yoke</b>	Prevenција nenamjerne pogreške.
<b>SMED</b>	Sustav za promjenu strojnih alata.
<b>TQM</b>	Sustav upravljanja usmjeren prema kontinuiranom poboljšavanju kvalitete proizvoda.
<b>Jidoka</b>	Dojavljivanje pogreške u proizvodnji operateru.
<b>VSM</b>	Mapiranje toke vrijednosti unutar procesa.

Tablica 2.2 Lean alati i metode [izrada autora prema [3],[4]]

Svi navedeni alati u tablici teže ka postizanju savršenstva kroz eliminaciju gubitaka koji se dijele u osam kategorija a radi lakšeg pamćenja koristi se akronim TIMWOOD gdje svako slovo predstavlja jednu kategoriju gubitaka koje su prikazane slikom 2.2 [5].



Slika 2.2 7 vrsta gubitaka [5]

Transport (engl. *Transport*) — gubici nastali zbog nepotrebnih kretanja materijala, poluproizvoda i proizvoda

Zalihe (engl. *Inventory*) — troškovi nastali skladištenjem viška proizvoda

Nepotrebni pokreti (engl. *Movement*) — loš raspored strojeva i skladišta

Čekanje (engl. *Waiting*) — čekanje na materijal ili radne naloge, loša organizacija operacija

Prekomjerna proizvodnja (engl. *Over producing*) — nemogućnost plasiranja svih proizvoda

Prekomjerna obrada (engl. *Over processing*) —višak koraka u proizvodnom procesu

Škart (engl. *Defect*) — proizvodi s greškom.

Osmi gubitak, koji nije naveden u akronimu, predstavlja neiskorištavanje ljudskih potencijala. Pri tome se misli na nedovoljno uključivanje zaposlenika u poslovne procese te neiskorištavanje njihovih sposobnosti kritičkog razmišljanja. Posljedica ovoga gubitka jest manjak povratnih informacija o samom procesu čime se umanjuje i vrijednost konačnoga proizvoda.

U Lean načinu vođenja poslovnih sustava potrebno je isto tako napomenuti i pristup „8P-ova Lean poslovnog sustava“. U nastavku je prikazana tablica 2.3 koja ukratko definira svaki od navedenih pristupa.

Pristup	Kratki opis
<b>Svrha</b> (engl. <i>Purpose</i> )	Lean razmišlja o ciljevima pitajući se koje probleme kupaca može riješiti i koju vrijednost može stvoriti. Tvrtke razmišljaju o tome što žele postići, u kojem smjeru žele ići, što im je fokus i krajnje odredište. Ovaj pristup povezan je ne samo s potrebama vlasnika već i dugih sudionika (zaposlenici, društvo, krajnji korisnici) koji su direktno ili indirektno povezani s projektom.
<b>Ljudski kapital</b> (engl. <i>People</i> )	Ljudski kapital temelj je uspjeha i održivog razvoja poduzeća. Kako bi postigle zadovoljavajuće rezultate, tvrtke moraju brinuti o svojim zaposlenicima. Poznavanjem razlike između menadžmenta i vodstva, stvaranjem i razvijanjem inspirativne vizije, poticanjem i implementacijom odgovarajućeg poslovnog okruženja te učestalim sastancima na svim hijerarhijskim razinama poduzeća, moguće je utjecati na efikasnost poslovanja poduzeća. Drugim riječima, Lean načinom razmišljanja o tome mogu li zaposlenici svojim prijedlozima pridonijeti boljem poslovanju poduzeća, na transparentan način stvara se dodatna vrijednost.
<b>Proces</b> (engl. <i>Process</i> )	Lean se promatra iz holističke perspektive, gdje tvrtka povećava profitabilnost poboljšanjem korisničke usluge i eliminacijom gubitaka. Fokus je na ravnoteži između poslovnih ciljeva i svrhe. Procesi moraju biti inovativniji i prilagođeniji zahtjevima kupaca kako bi se ostvario puni potencijal poslovanja. Nadalje, zadatak Lean sustava je ispitati i analizirati svaki korak kako bi saznali stvara li svaki korak novu vrijednost za kupca. Osim toga, Lean sustav postavlja pitanja je li svaki korak u procesu potreban i međuovisnosti tih koraka.
<b>Povlačenje</b> (engl. <i>Pull</i> )	Koncept povlačenja može se promatrati sa stajališta poboljšanja na temelju povlačenja (engl. <i>Pull Based Improvement</i> ) i sa stajališta treninga temeljenog na konceptu povlačenja (engl. <i>Pull-Based Training</i> ). Ovo načelo odnosi se na činjenicu da lokalni tim zna više o poslovanju na toj razini te da treba na dovoljnoj razini odlučivanja sudjelovati u implementaciji poboljšanja procesa. Nasuprot tome, „ <i>Pull-Based Training</i> “ provodi se prema potrebama lokalnog tima i odluke su donesene u dogovoru s voditeljem tima i pojedinaca (bez obzira na razinu). Temelji se na vještinama i sposobnostima koje su potrebne kako bi tim doprinio uspjehu poslovanja. Suprotno tradicionalnim načelima, ovdje je fokus na projektnom timu a ne krajnjem korisniku.
<b>Prevenција</b> (engl. <i>Prevention</i> )	Bitno je odrediti potrebne alate pri čemu treba postojati ravnoteža između alata za svakodnevnu upotrebu i alata koji su prilagođeni specifičnim situacijama i potrebama.
<b>Partnerstvo</b> (engl. <i>Partnering</i> )	Stvaranje opskrbnog lanca visokih performansi može tvrtkama donijeti veću konkurentsku prednost. Najbolji primjer za to je Toyota koja ulaže veliku trud u poboljšanje poslovanja svojih dobavljača.
<b>Okoliš</b> (engl. <i>Planet</i> )	Prilikom implementacije poslovnog procesa važno je imati na umu njegov utjecaj na okoliš. Poslovni sustavi današnjice moraju pronaći balans između socijalnih, ekoloških i ekonomskih faktora poslovanja.
<b>Savršenstvo</b> (engl. <i>Perfection</i> )	Savršenstvo je „sveti gral“ Lean poslovanja. Međutim, njegov se pogled donekle promijenio. Više se ne radi samo o mjerenju uspješnosti posla, već o tome kako je obavljen. Takva načela pomažu izgraditi tvrtku koja uči na svojim pogreškama i neprestano se poboljšava, čime održava svoj kredibilitet na tržištu.

Tablica 2.3 8P-ova Lean metodologije [6]

Pristup 8P-ova trebao bi prevladati nedostatke načela tradicionalnih poslovnih sustava te ih ublažiti pa čak i eliminirati.

### 3. LEAN SIX SIGMA METODOLOGIJA

Lean Six Sigma metodologiju u literaturi se često opisuje kao filozofiju menadžmenta, kulturološki pristup organizacijskom menadžmentu, mjerni sustav za analizu performansi i proces projektnog menadžmenta za rješavanje problema. Lean Six Sigma pristup koristi timski rad za poboljšanje učinaka nekog poslovnog sustava na način da kombinacijom Lean metodologije i Six Sigma metoda eliminira osam vrsta gubitaka dok istovremeno osigurava kvalitetu u proizvodnim i organizacijskim procesima. Drugim riječima, primjenom Lean Six Sigma metodologije u poslovni sustav poduzeća, eliminiraju se gubici uzrokovani upotrebom resursa koji ne stvaraju vrijednost za krajnjeg kupca [7].

Lean Six Sigma poslovnim sustavima nudi raznolik spektar alata i metoda primjenom kojih poduzeća mogu, uz stalna poboljšanja na strukturiran način, postići konkretne rezultate. Provedba Lean Six Sigme poduzećima tako omogućava strateški pristup usmjeren na poslovne ciljeve a rezultira opipljivim rezultatima koji poslovne probleme rješavaju trajno i na konstruktivan način. Kao temelj za provođenje Lean Six Sigma metode potrebno je poznavati potrebne podatke i činjenice o procesu na kojem se sam projekt provodi. Ovi se podatci odnose na podatke koji moraju biti mjerljivi, uvid u stvarne želje kupaca, pouzdano mjerenje trenutnog stanja te objektivnog rezultata mjerenja na testnom uzorku nakon implementiranja poboljšanja u sam proces. Današnje organizacije opterećene su globalnom konkurencijom, suočavanjem sa sve većim troškovima, potrebom za što fleksibilnijom proizvodnjom i drugim faktorima te im u borbi protiv ovih problema implementacija Lean Six Sigma metodologije može uvelike pomoći. Tako su neki od najvećih benefita implementiranja ove metode povećanje dobiti, poboljšana učinkovitost poslovanja, manji troškovi, podrška zaposlenicima u razvoju njihovih vještina i znanja te mnogi drugi [8].

### 3.1. Six Sigma metodologija

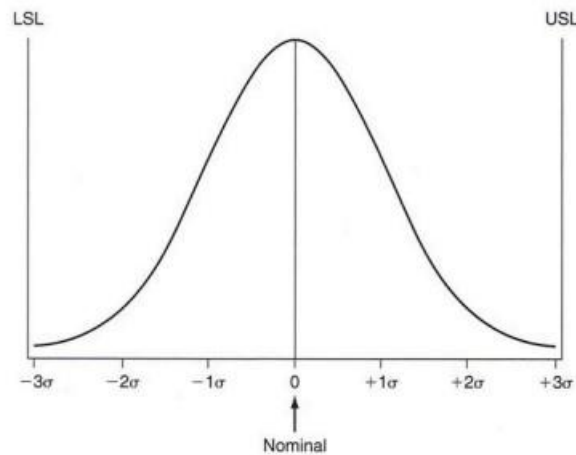
Osnovna namjena Six Sigme u nekom poduzeću jest mjerenje varijabilnosti poslovnih procesa. Zbog toga se Six Sigma često koristi u kontroli kvalitete zbog standardizacije razine kvalitete nad bilo kojim procesom unutar granica zadanih za taj proces [8].

Drugi autori Six Sigma definiraju kao statistički izraz kojim se označava odstupanje tj. standardna devijacija  $\sigma$  određenog procesa u odnosu na očekivani ishod. Stoga se metode Six Sigme temelje na primjeni statističkih alata, poput Gaussove normalne razdiobe, za mjerenje standardnih devijacija od srednje vrijednosti statističke distribucije određenih pojava kao što su radne aktivnosti, operacije ili procesi [9].

Kako je navedeno,  $\sigma$  označava standardnu devijaciju dok se brojka šest referira na razinu kvalitete kojoj teži svako poduzeće. DPMO predstavlja osnovnu mjeru Six Sigme te se referira na broj grešaka na milijun jedinica (engl. *Defects per million opportunities*). Slikom 3.1 je prikazana tablica s vrijednosti DPMO sukladno razini standardne devijacije. Rezultat od 3,4 za  $6\sigma$  predstavlja broj grešaka na milijun uzoraka. Kako bi se postigli ovi rezultati, Six Sigma koristi širok spektar statističkih jednadžbi koje se baziraju na normalnoj razdiobi tj. Gaussovoj krivulji prikazanu slikom 3.2 [10].

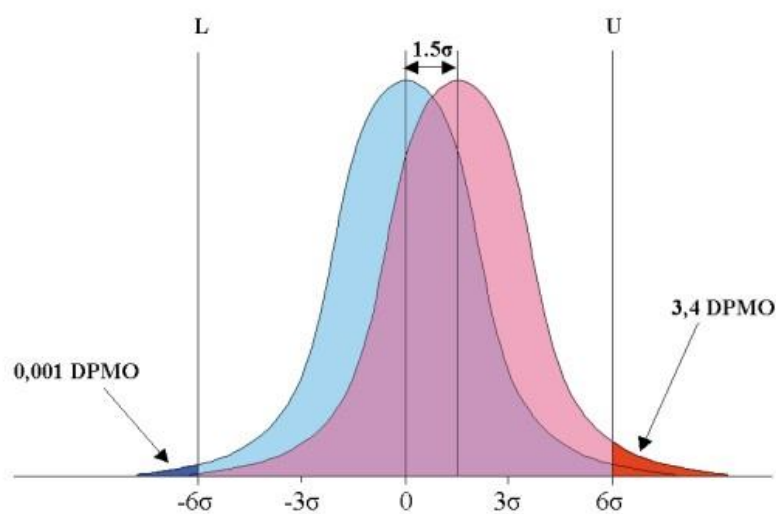
Širina zahtjeva U - L	Vjerojatnost %	DPMO	Pomak od $1,5\sigma$	
			Vjerojatnost, %	DPMO
$\pm 1\sigma$	68,27	317 300	30,23	697 700
$\pm 2\sigma$	95,45	45 500	69,13	308 700
$\pm 3\sigma$	99,73	2 700	93,32	66 810
$\pm 4\sigma$	99,9937	63	99,3790	6 210
$\pm 5\sigma$	99,999 943	0,57	99,976 70	233
$\pm 6\sigma$	99,999 999 8	0,002	99,999 660	3.4

Slika 3.1 Broj grešaka na milijun jedinica [10]



Slika 3.2 Gaussova krivulja [10]

Gaussova krivulja ima oblik zvona te ovisi o procesu, veličini uzoraka, opremi i ostalim elementima. Asimptota krivulje na osi x je u granicama od  $-\infty$  do  $+\infty$  dok je simetrična oko osi y. Normalna razdioba se statistički definira kao površina u domeni od  $\pm 6\sigma$  na kojoj vjerojatnost ishoda iznosi 99,9999998 % što iznosi dvije pogreške u milijardu slučajeva. Inženjeri Motorole, koji su začetnici Six Sigma metodologije, predvođeni Billom Smithom utvrdili su da svaki proces varira tokom vremena što su definirali dugoročnom dinamikom srednje varijacije. Zbog te činjenice se u Six Sigma metodologiji iskustveno uzima pomak procesa od središta krivulje za  $1,5\sigma$  iz čega proizlazi broj od 3,4 grešaka na uzorku od milijun jedinica.



Slika 3.3 Normalna distribucija sa i bez pomaka [10]



Slika 3.3 prikazuje normalnu distribuciju sa i bez pomaka. DPMO nakon pomaka predstavljen je crvenom bojom a nalazi se izvan granica dopuštenih odstupanja. Pravci označeni slovima L i U predstavljaju donju i gornju granicu te se 3,4 DPMO-a nalazi iznad gornje granice dok se svega 0,001 DPMO-a nalazi ispod donje granice odstupanja. Za svaki proces pri provođenju ove statističke metode DPMO iznosi 3,4, a ako se promatrani proces pomno prati, pomak može biti značajno manji od  $1,5\sigma$  ali uz isti DPMO od 3,4.

Za realizaciju Six Sigme u poslovnim sustavima, ovisno o poslovnom problemu, potrebno je provesti jedan od dva modela koja Six Sigma koristi, a to su DMAIC i DMADV. DMAIC pristup korišten je u slučajevima kada je potrebno poboljšati postojeći proces. DMADV pristupu koristi se pri razvoju novih procesa [11].

DMADV model se sastoji od 5 faza, a to su [11]:

- Definiranje
- Mjerenje
- Analiza
- Dizajniranje
- Promjena.

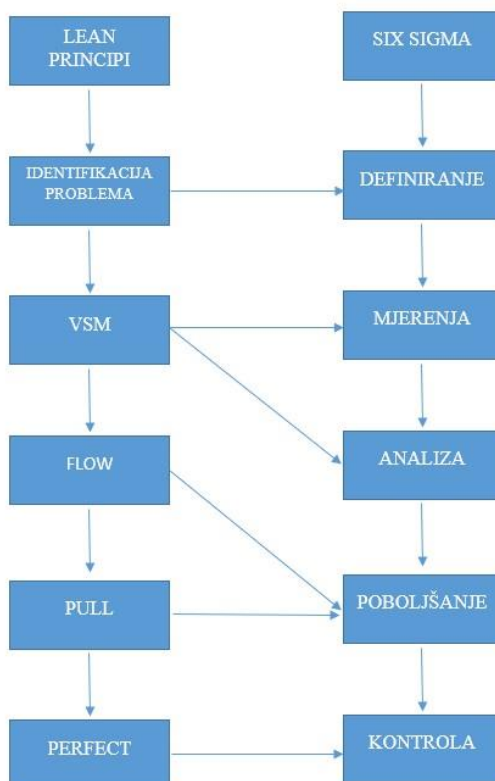
DMAIC model se po svojoj koncepciji razlikuje u dvije faze od DMADV, a sastoji se od slijedećih 5 faza [11]:

- Definiranje
- Mjerenje
- Analiza
- Poboljšanje
- Kontrola.

Model DMAIC i sve njegove faze u teoriji i praktičnoj fazi biti će detaljno prikazane u narednim poglavljima ovog diplomskog rada.

### 3.2. Lean i Six Sigma

Kao što je navedeno Six Sigma metodologija implementira se u poslovni sustav kroz strukturirani model s ciljem smanjenja varijacija u proizvodnji a cilj poboljšanja može biti bilo koji proces koji utječe na postizanje zadovoljstva krajnjih korisnika ili boljih poslovnih rezultata. S druge strane Lean metodologija bavi se eliminacijom gubitaka u poslovnim procesima i poboljšavanjem protoka proizvoda kroz cijeli proces te se temelji na jasno definiranom skupu načela. Obje metode su vrlo učinkovite no u njihovoj primjeni dolazi do određenih ograničenja. Tako je u primjeni Six Sigmme fokus na eliminaciji nedostataka procesa ali ne na optimizaciji toka proizvoda u proizvodnom procesu. S druge točke gledišta Lean metodologija i njena načela u postizanju željenih performansi procesa u obzir ne uzimaju statističke alate koji su neophodni kako bi se to postiglo. Zbog njihovih ograničenja, Lean i Six Sigma metodologija se ujedanjuju u Lean Six Sigma metodologiju kako bi se iz obje metode izvuklo najbolje [13]. Sinergijski učinak ove dvije metodologije prikazan je u tablici 3.1, dok je odnos između Lean pristupa i Six Sigma modela prikazan slikom 3.4.



Slika 3.4 Odnos između Lean principa i Six Sigma modela [12]

Doprinos Lean proizvodnje	Doprinos Six Sigma metodologije
Uspostavljanje metodologije poboljšanja	Metoda provedbe politike kvalitete
Usmjerenje na lanac nastanka vrijednosti za korisnika	Procjena i mjerenje zahtjeva kupaca, višefunkcijsko upravljanje
Primjena temeljena na projektnom pristupu	Vještine upravljanja projektima
Razumijevanje stvarnih uvjeta u proizvodnji	Prikupljanje znanja
Prikupljanje stvarnih podataka o proizvodu i procesu	Alati prikupljanja i analize podataka
Dokumentiranje postojećeg rasporeda proizvodne opreme i tijeka proizvodnje	Grafičko prikazivanje odvijanja procesa
Određivanje i usklađivanje trajanja elemenata procesa	Alati i metode prikupljanja podataka, statistička kontrola procesa
Izračunavanje sposobnosti procesa i vremena pomaka	Alati i metode prikupljanja podataka, statistička kontrola procesa
Stvaranje popisa normiranih poslova	Promovira i primjenjuje metode planiranja nadzora procesa
Procjenjuje mogućnosti poboljšanja	Uzročno – posljedični odnosi, FMEA metoda

**Tablica 3.1 Sinergijski učinak Leana i Six Sigme [13]**

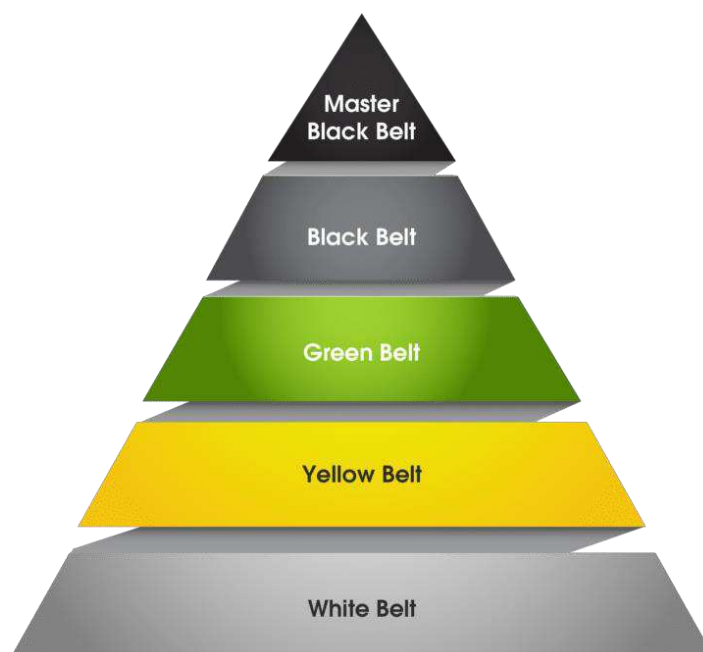
Prvi korak Lean metodologije započinje identificiranjem problema koji su uočeni tijekom nadgledanja proizvodnih procesa dok u Six Sigma metodologiji korak „*definiraj*“ može proizaći iz zapažanja procesa, pritužbi kupaca ili postavljanja većih očekivanja od strane top menadžmenta. Drugi korak Lean metodologije jest provođenje mapiranja toka vrijednosti što je ekvivalent Six Sigminom koracima mjerenja i analize u kojima se identificiraju vremena ciklusa radnih procesa s fokusom na dodanu vrijednost kupcima te provode analize izmjerenih podataka. Tok (engl. *Flow*) i povlačenje (engl. *Pull*) koraci Leana predstavljaju poboljšanja promatranog procesa. Tok i povlačenje predstavljaju Lean proizvodnu metodu, sličnu „*Kanban*“ metodi, koja se temelji na protočnosti proizvoda kroz proces, a izravno ovisi o vremenu kada kupac zaključi narudžbu. U posljednjem koraku Leana, koraku „*savršenstvo*“ (engl. *Perfect*) prati se stabilnost poboljšanog procesa te je komplementaran Six Sigminoj fazi kontrole [12].

### 3.3. Ključne uloge prema Lean Six Sigma sustavu

Svaka pozicija (funkcija) u infrastrukturi poduzeća koje primjenjuje Lean Six Sigma metodologiju je važna, ali sama po sebi nije dovoljna da postigne ono što organizacija očekuje od Lean Six Sigma programa. Svaki položaj (funkcija) zahtijeva određenu edukaciju, a naziv funkcije preuzet je iz istočnjačkih borilačkih vještina. Sama imena nisu toliko bitna i mogu se mijenjati prema potrebama tvrtke, ali bitna je njihova funkcija i razina obučenosti. Za neke pozicije (funkcije) kao što su „zeleni pojas“, „crni pojas“, „majstorski crni pojas“ itd. potrebni uvjeti su završiti edukacije po posebnom programu i položiti certifikaciju uvjetovanu provođenjem projekata unutar poduzeća te polaganjem pismenog i usmenog ispita [13].

Podjela ključnih pozicija (funkcija) prema Lean Six Sigma metodologiji je slijedeća [14]:

1. Bijeli pojas (engl. *White Belt*)
2. Žuti pojas (engl. *Yellow Belt*)
3. Zeleni pojas (engl. *Green Belt*)
4. Crni pojas (engl. *Green Belt*)
5. Crni pojas (engl. *Black Belt*)
6. Majstorski crni pojas (engl. *Master Black Belt*).



Slika 3.5 Ključne uloge Lean Six Sigma metodologije [15]

### Bijeli pojas (engl. *White Belt*)

Bijeli pojas označava početni nivo znanja te ima najuži fokus u usporedbi s drugim razinama certifikacije. Razlog zašto je tome tako je što radnici s razinom znanja bijelog pojasa rade na specifičnoj radnoj stanici te se njihov rad ne odnosi na ostale procese unutar poslovnih sustava. Osobe s ovom razinom znanja mogu prakticirati osnovne metode i alate Lean Six Sigme ali samo kao podršku. Ova razina namijenjena je svim osobama zaposlenima u poduzeću u kojem se provodi Lean Six Sigma projekt, pa čak i ako nisu aktivni članovi projekta, organizacija ima koristi od njihovog razumijevanja osnovnih alata i koncepta koje metodologija koristi [16].

### Žuti pojas (engl. *Yellow Belt*)

Žuti pojasevi su zaposlenici koji su prošli osnovnu obuku o metodama poboljšanja kvalitete i uključeni su u projekte. Imaju osnovno razumijevanje metodologije i preuzimaju ulogu podrške nositeljima zelenih i crnih pojaseva u Lean Six Sigma timu. Poput zelenih pojaseva, oni često imaju druga zaduženja koja nisu u opisu posla vezanog za projekt [16].

### Zeleni pojas (engl. *Green Belt*)

Zeleni pojasevi su Six Sigma profesionalci koji izravno surađuju sa Crnim pojasevima i odgovorni su za većinu prikupljenih podataka što je veoma odgovoran zadatak budući da se Lean Six Sigma metoda u velikoj mjeri temelji na statistici i točnim podacima. Ponekad zeleni pojasevi unutar tima mogu preuzeti vodstvo za manje projekte no uglavnom se zbog svog dobrog znanja o primjeni alata koje metodologija koristi zapošljavaju pod vodstvom Crnih pojaseva [16].

### Crni pojas (engl. *Black Belt*)

Crni pojasevi smatraju se vođama Lean Six Sigma tima. Dio njihove uloge je praćenje postignuća ostalih članova unutar tima (zeleni i žuti pojasevi) te njihovo usmjeravanje k ispunjenju ciljeva u željenom vremenskom okviru. Njihov glavni zadatak je upravljanje poslovnim projektima, odnosno definiranje Lean Six Sigma projekta i vremena u kojem se treba provesti te informirati kupce i menadžere o trenutnoj situaciji. Osim toga, crni pojasevi imaju veoma razvijene komunikacijske vještine i preuzimaju ulogu voditelja provođenja kontinuiranih poboljšanja unutar svojih poslovnih sustava.

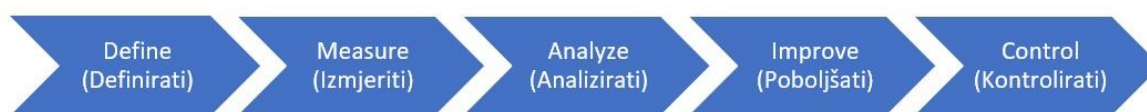
Budući da preuzimaju odgovorne dužnosti, uvjet za stjecanje crnog pojasa jest obukom stečeno znanje te stečeno iskustveno znanje ne temelju provođenja Lean Six Sigma projekata. Ovi stručnjaci posjeduju znanja o statističkim i financijskim analizama koja im uvelike pomažu u upravljanju Lean Six Sigma projektima te su zbog svojih kompetencija veoma traženi na tržištu rada [16].

#### Majstorski crni pojas (engl. *Master Black Belt*)

Osobe s certifikatom majstorskog crnog pojasa imaju veoma važnu ulogu u Lean Six Sigma organizaciji. Kao što ime sugerira, oni su stručnjaci na vrhu piramide obučenih i certificiranih Six Sigma profesionalaca. Svojim iskustvom, vještinama i znanjem mogu provoditi aktivnosti kao konzultanti ili metodološki tehnolozi. Tijekom provođenja implementacije Six Sigma sustava na organizacijskoj razini, često se mogu javiti određeni problemi i pitanja. Posao majstorskih crnih pojaseva je da pomognu u rješavanju problema čim se oni pojave te pružiti timovima odgovarajuća rješenja. Isto tako, jedno od glavnih zaduženja majstorskih crnih pojaseva, s obzirom na najviši stupanj znanja i iskustva, jest osposobljavanje zaposlenika da postanu Six Sigma profesionalci na razini žutog, zelenog ili crnog pojasa [16].

## 4. DMAIC PRISTUP

DMAIC predstavlja temeljni pristup Lean Six Sigma metodologije te se također može opisati kao ključna metodologija provođenja kontinuiranih poboljšanja na postojećim procesima unutar Lean Six Sigma organizacije. Naziv pristupa DMAIC predstavlja akronim kojeg čine početna slova svih pet faza koje se u njemu provode, a to su faze definiranja, mjerenja, analize, poboljšanja i kontrole te su prikazane slikom 4.1.



Slika 4.1 Faze DMAIC modela

Ovih pet faza često se prikazuju kao linearan proces no one to u stvarnosti nisu već se sam DMAIC proces sastoji od povratnih petlji te iteracija. Glavna svrha upotrebe ovog alata jest povećati efektivnost i efikasnost postojećih procesa unutar organizacija [17].

DMAIC se koristi kada se poboljšavaju kompleksni procesi i to u slučajevima kada nisu poznati problemi koji se pojavljuju u procesu niti njihova rješenja. U ovim slučajevima će strukturiran pristup, kojeg koristi DMAIC, pomoći pri identifikaciji problema što će nadalje rezultirati prijedlozima mogućih rješenja te kasnije kontrole i nadziranja implementiranih poboljšanja. Uz navedene još neke od prednosti korištenja DMAIC modela jesu [17]:

- Kraća vremena ciklusa
- Smanjeni troškovi
- Kvalitetniji proizvod ili usluga
- Povećanje prihoda
- Pouzdanija analitičnost poslovanja
- Smanjena vjerojatnost rješavanja manje bitnih problema
- Poboljšana komunikacija između zaposlenika.

U nastavku ovog poglavlja biti će opisane faze DMAIC ciklusa te navedeni alati koje koriste, dok će se alati korišteni u praktičnom dijelu diplomskog rada biti detaljno opisani.

## 4.1. Faza definiranja

Osnovni zadatak rješavanja problema jest prvo dobro definirati problem. Početna razmatranja u fazi definiranja problema započinju osluškivanjem pritužbi radnika, kupaca i sponzora ili instinkta da u procesu nešto nije kako bi trebalo biti. Pri tome je korisno znati tko je uočio problem, gdje je i kada problem uočen, te kako je utjecao na troškove, količinu i zadovoljstvo kupaca proizvodom. Zbog toga je na početku potrebno definirati opseg projekta te kako bi se problem što bolje definirao, u ovoj fazi ne treba pretpostavljati specifično rješenje problema. Cilj ove faze DMAIC modela jest definirati problem na način koji će omogućiti popunjavanje praznina u sljedećim modelima između željenog i trenutnog stanja promatranog procesa [18]. Osnovni alati koji se koriste u ovoj fazi jesu [18]:

- Projektna povelja
- Poopćeni procesni dijagram (SIPOC dijagram)
- Yamazumi dijagram
- EDA (engl. *Exploratory data analysis*)
- Dijagram toka.

U nastavku će biti definirani alati korišteni u praktičnom dijelu diplomskog rada.

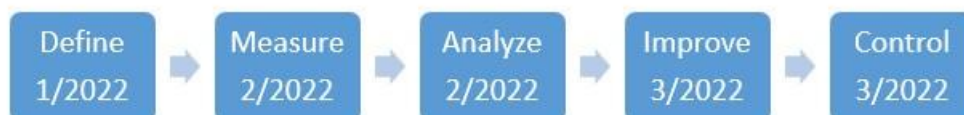
### 4.1.1. Projektna povelja

Projektna povelja je alat koji se koristi prilikom pokretanja Lean Six Sigma projekta i služi kako bi se olakšala komunikacija unutar organizacije tijekom provođenja projekta, a sastoji se od osam dijelova te je njen predložak prikazan slikom 4.2. Prvi dio predstavlja definiciju problema u postojećem procesu te ukazuje na mjesta na kojima do problema dolazi. Drugi dio jest odrediti ciljeve projekta odnosno ishode koji se žele postići provođenjem projekta. Treći dio tj. opseg projekta odnosi se na lokacije u poduzeću na kojima se projekt provodi. Ključna mjerenja kao treći dio predstavljaju mjerenja ključna za poboljšavanje promatranog procesa kao što je primjerice vrijeme ciklusa ili vrijeme takta proizvodnje. Četvrti dio jesu alati, grafovi, analize i ostala dokumentacija koja se isporučuje po završetku provođenja projekta. Peti dio predstavljaju iskoristive mogućnosti koje su podijeljene u dvije skupine, ulazne i izlazne.



Ulazne iskoristive mogućnosti predstavljaju one informacije koje ulaze u sam projekt i olakšavaju njegovu izvedbu, dok izlazne mogućnosti predstavljaju one informacije, znanja i baze podataka stečene provođenjem projekta. Sedmi dio projektne povelje čini projektni tim u kojem su navedene osobe koje su sudjelovale u provođenju projekta te se osmi dio odnosi na definiranje vremenskih rokova za obavljanje dijelova projekta.

Definicija problema	Ciljevi projekta	Opseg projekta	Projektni tim <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sponzor</li> <li>• Voditelj projekta</li> </ul>
Ključna mjerenja procesa	Isporučeni materijali	Iskoristive mogućnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tim</li> <li>• Predstavnici poduzeća</li> </ul>



Slika 4.2 Predložak projektne povelje [izradio autor]

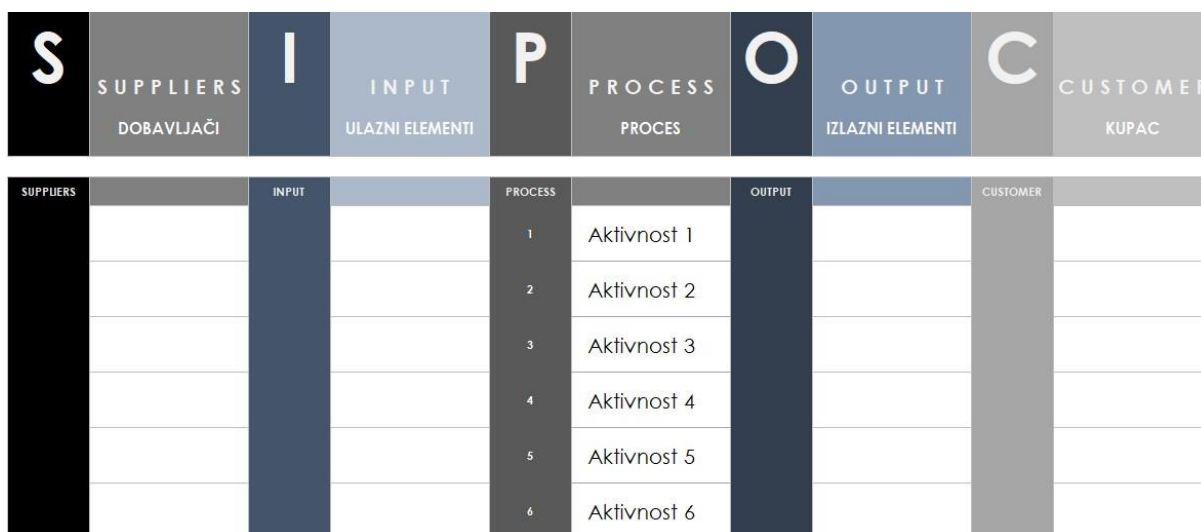
#### 4.1.2. SIPOC dijagram

Tijekom faze definiranja kreira se takozvani SIPOC dijagram koji predstavlja pogled iz ptičje perspektive na procese unutar poslovnih sustava. Cilj izrade jednog takvog dijagrama je identificirati i napraviti pregled svih procesa koji se odvijaju u poslovnom sustavu i opisati ključne varijable svakog od tih procesa.

Sam naziv SIPOC je akronim koji označava sljedeće [19]:

- dobavljač – engl. *Supplier*
- ulazni elementi – engl. *Input*
- proces – engl. *Process*
- izlazni elementi – engl. *Output*
- kupac – engl. *Customer*.

Dobavljači mogu biti vanjski, ukoliko se radi o materijalima, poluproizvodima i uslugama koje se moraju naručiti prije nego uđu u sam proces, te interni ukoliko poduzeće samo opskrbljuje potrebne ulaze u proces. Ulazni elementi su svi dokumenti, poluproizvodi, poluproizvodi i usluge koje ulaze u sam proces koji se nadalje sastoji od određenih aktivnosti. Jednom kada su aktivnosti u procesu provedene potrebno je definirati koji su to izlazni elementi te tko je njihov krajnji korisnik odnosno kupac. Sve navedeno prikazuje slika 4.3 kao predložak SIPOC dijagrama.



Slika 4.3 Predložak SIPOC dijagrama [izradio autor prema [19]]

## 4.2. Faza mjerenja

Druga faza DMAIC ciklusa je faza mjerenja u kojoj se pristupa mjerenju performansi procesa. Mjerenja se vrše kako bi se odredile aktivnosti i mjesta u procesu gdje dolazi do rasipanja resursa tj. gdje bi se mogla implementirati poboljšanja. Neki od primjera mjerenih veličina mogu biti vremena ciklusa, vrijeme takta proizvodnje, količina škarta, stupanj iskorištenosti kapaciteta i slično. Identifikacijom performansi u procesu osigurava se uvid u varijable koje opisuju poluproizvode, proizvode ili usluge koje izlaze iz procesa. Ove varijable mogu biti dobivene kvalitativnim mjerenjima, odnosno opisnim mjerenjima i kvantitativnim mjerenjima, odnosno mjerenjima kojima se dobivaju diskretni i kontinuirani podatci [20].

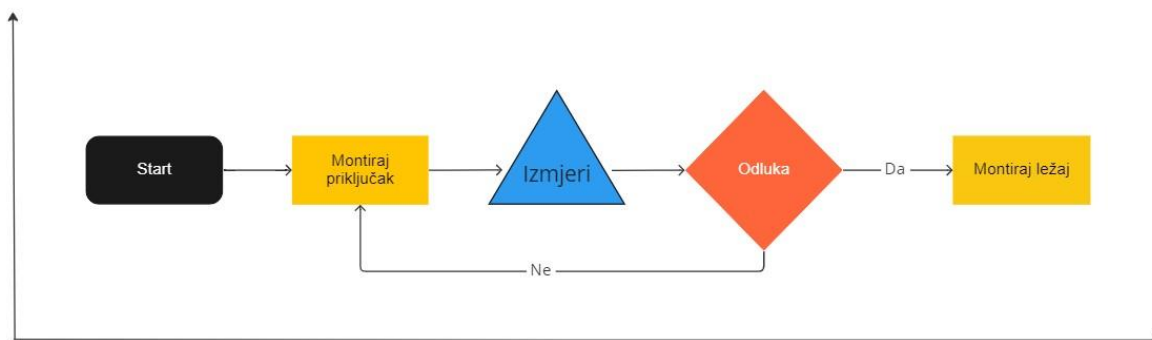
U ovoj fazi DMAIC ciklusa koriste se sljedeći alati [18]:

- Mapiranje procesa
- Dijagram toka
- Pareto Dijagram
- Boxplot dijagram
- Fishbone dijagram (Ishikawa dijagram)
- Analiza potencijalnih problema.

### 4.2.1. Dijagram toka

Jednom kad su se mapirale aktivnosti procesa potrebno je prikazati međudjelovanje entiteta u procesu te se u tu svrhu kao alat koristi dijagram toka. Dijagramom toka svakoj se aktivnosti određuje njena karakteristika tj. definira se tip procesne operacije u koje se mogu svrstati. Ovaj simbolički algoritam sastoji se od niza simbola i strelica koje sugeriraju tok proizvoda u procesu, a jedan takav dijagram prikazan je slikom 4.4.

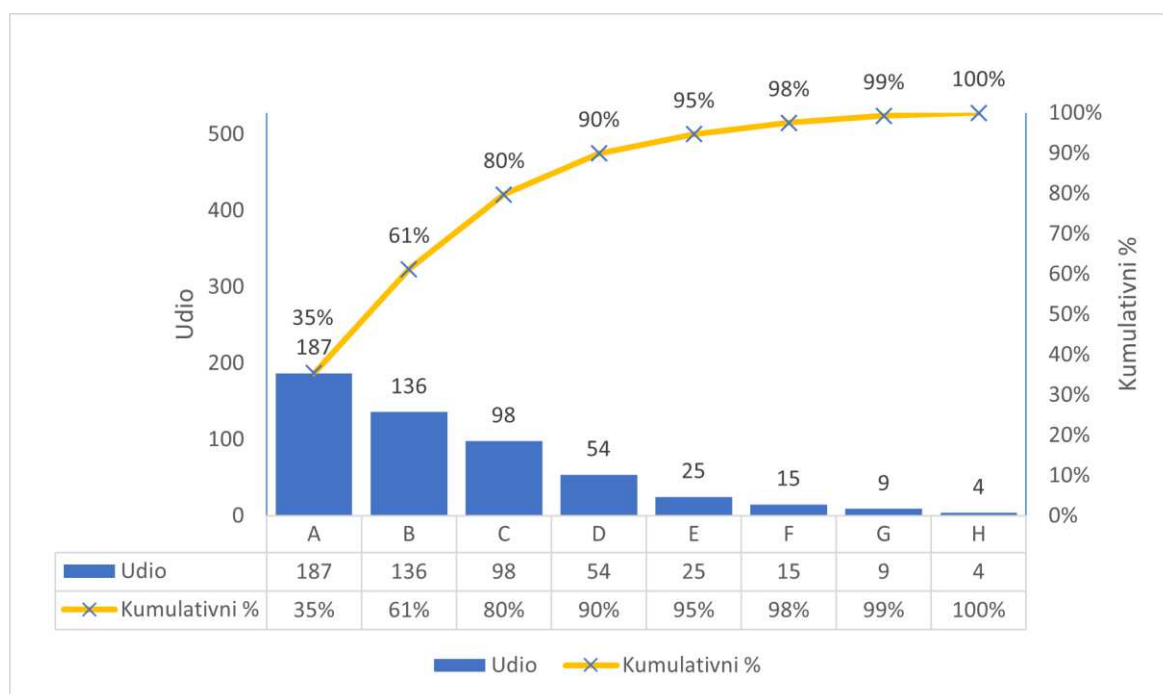
Na slici su žutim pravokutnicima označene aktivnosti koje donose vrijednost proizvodu, plavim trokutom aktivnost kontrole te crvenim pravokutnikom aktivnost odluke. Kupca najviše zanimaju one aktivnosti koje direktno utječu na vrijednost te ih je stoga poželjno optimizirati [20].



Slika 4.4 Primjer dijagrama toka [izradio autor]

#### 4.2.2. Pareto dijagram

Pareto dijagram, također poznat i kao ABC analiza, definira da 20% uzroka stvara 80% problema. Ovo načelo doslovno znači da na primjer 80% obavljenog posla dolazi iz 20% utrošenog truda što nameće zaključak da sa usmjerenijim djelovanjem na tih 20% dolazi do otključavanja potencijala uloženog truda te djelotvornijeg rada. Primjer pareto dijagrama prikazan je slikom 4.5.



Slika 4.5 Primjer Pareto dijagrama [izradio autor]

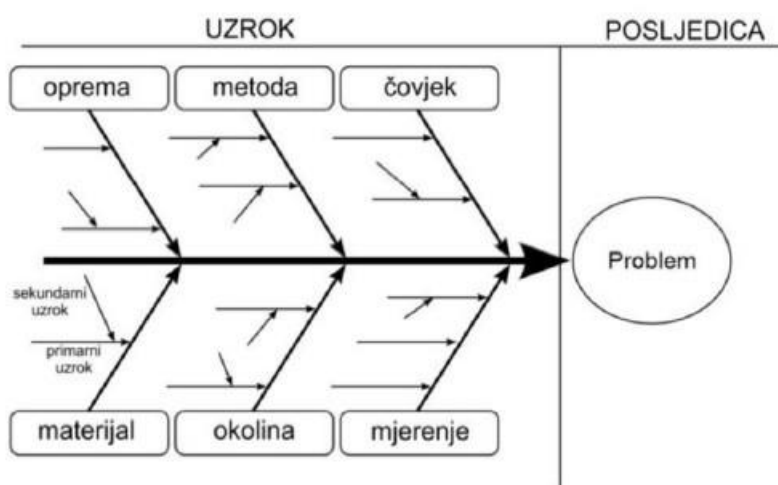
Koraci pri izradi pareto dijagrama su sljedeći [21]:

1. Definiranje promatrane kategorije
2. Definiranje relevantne podatke poput vremena, troškova i količine proizvoda
3. Prikupljanje podataka
4. Izračunavanje međuzbrojeve za svaku kategoriju
5. Određivanje mjerilo dijagrama
6. Ucertavanje stupaca s lijeva na desno počevši od najveće vrijednosti pa sve do najmanje
7. Izračunavanje postotaka za svaku promatranu vrijednost
8. Izračunavanje kumulativne sume postotaka završno s kumulativnom sumom od 100%.

Pareto dijagram ima široku upotrebu u procesima unapređivanje kvalitete kako proizvoda tako i procesa. Ovo je veoma jednostavna i fleksibilna metoda te je primjenjiva u slučajevima kvantitativno izraženih parametara. Može se koristiti kao samostalna metoda ili ulazno/izlazna metoda svih ostalih alata za poboljšavanje kvalitete [21].

### 4.2.3. Dijagram uzrok-posljedica (Ishikawa dijagram)

Uzročno posljedični dijagram razvio je japanski znanstvenik Kaoura Ishikawe i prema njemu je dobio naziv a zbog svog izgleda naziva se još i dijagramom riblje kosti. Njegova primjena odnosi se na prikaz i identifikaciju specifičnih uzroka problema ili karakteristika kvalitete. Slikom 4.6 je prikazan jedan takav pregledan grafički prikaz dijagrama koji se sastoji od ulaznih kategorija pojave grešaka te problema koje uzrokuju.



Slika 4.6 Osnovni izgled dijagrama riblje kosti

Dijagram se izrađuje na način da članovi tima iznose što je više moguće uzroka nastajanja problema te ih svrstavaju u šest kategorija. Ova metoda omogućuje evidenciju i svrstavanje uzroka i uvid u njihovu posljedično-uzročnu zavisnost ali samo provođenje metode ne rješava problem. Isto tako bitno je napomenuti kako kategorije uzroka problema mogu imati i svoje potkategorije kako bi se što bolje ušlo u srž problema a u tu svrhu se koristi iterativna metoda „pet zašto“. Ovom metodom postavlja se pet pitanja: *gdje, što, kad, tko i zašto* te se odgovaranjem na njih pokušava doći do korijena problema [21].

Tako primjerice ukoliko neka kategorija ima nekoliko specifičnih uzroka problema, potrebno je provesti njihovu daljnju identifikaciju. Ovaj slučaj na slici 4.6 nalazi se u grupi materijali gdje se uzroci problema dijele na sekundarne i primarne. Nadalje, ukoliko se i u drugim kategorijama uzroka pojavljuju sekundarni i primarni uzroci, tada se sekundarni i primarni uzroci mogu podijeliti i u glavne grupe uzroka problema [22].

### 4.3. Faza analize

Treća faza DMAIC ciklusa je faza analize. U ovoj se fazi analiziraju podatci prikupljeni u fazi mjerenja. Ovo je također faza u kojoj organizacija identificira uzroke otkrivenih odstupanja u procesu. Nadalje, projektni tim za poboljšavanje procesa radi na definiranju ciljeva te identifikaciji dijelova procesa koje je moguće poboljšati na način da se iz dobivenih podataka u drugoj fazi odrede varijable koje imaju najveći utjecaj na performanse procesa. U ovom koraku također posebnu pozornost treba obratiti na varijable koje su identificirane kao uzrok anomalija ili problema koje za posljedicu imaju output nesukladnih proizvoda ili usluga [20].

Alati i metode koji se koriste u ovoj fazi DMAIC ciklusa jesu [18]:

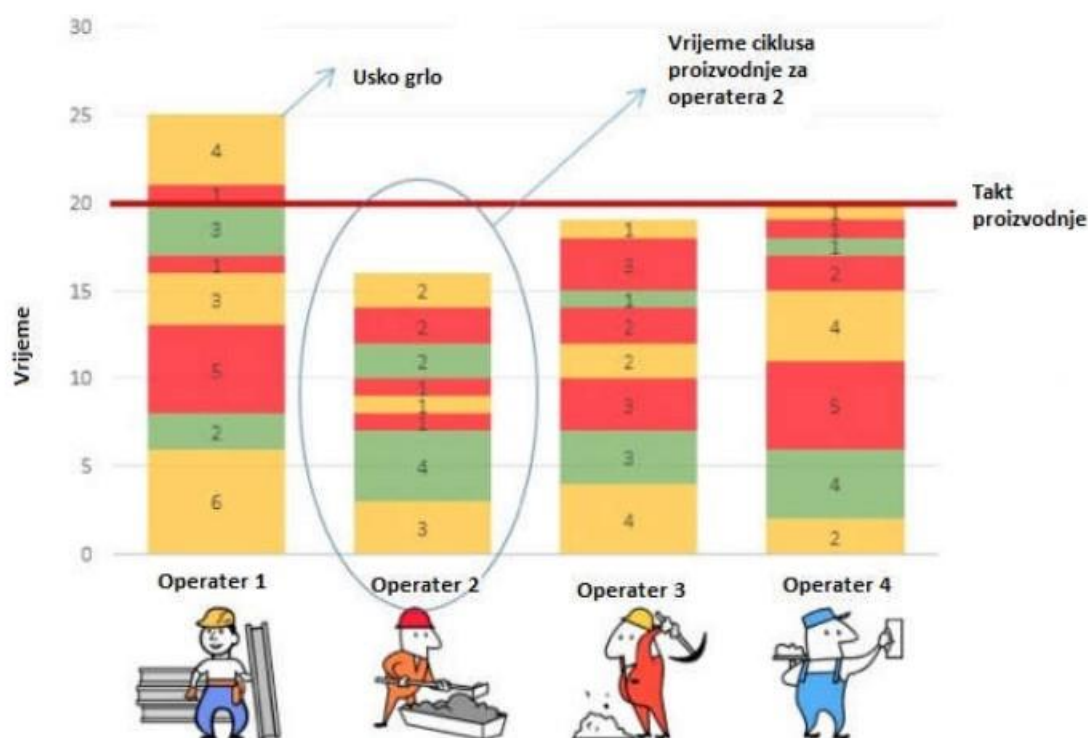
- Yamazumi dijagram
- EDA
  - I dijagram
  - Analiza sposobnosti procesa
  - Pareto dijagram
  - Boxplot dijagram
- Regresijska analiza.

#### 4.3.1. Yamazumi dijagram

Yamazumi dijagram u literaturi je definiran kao stupčasti grafikon u kojem svaki stupac predstavlja vrijeme ciklusa za jednu radnu stanicu, a koristi se kako bi se prezentirao promatrani proces. Kako bi se mogao izraditi Yamazumi dijagram potrebno je identificirati svaku aktivnost koja čini proizvodni proces. Točnije, potrebno je u obzir uzeti aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu, poput vremena obrade unutar CNC stroja, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu ali su neophodne, poput toplinske obrade strojnih dijelova te aktivnosti koje ne donose vrijednost proizvodu i predstavljaju gubitke. Ove aktivnosti u Yamazumijevom dijagramu dijele se u tri skupne i svaka je označena svojom bojom [23]:

1. Crvena - aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu tj. gubitci
2. Žuta – aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu ali su neophodne
3. Zelena – aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu.

Istraživači Pakdil i Leonard su 2017. godine ustanovili kako primjena Yamazumi dijagrama može biti ekstremno korisna pri balansiranju proizvodnih linija zbog reduciranja vremena ciklusa te izjednačavanja vremena takta te preraspodjela aktivnosti na radnim stanicama. Drugim riječima, primjenom Yamazumi dijagrama moguće je preraspodijeliti zadatke na radnim stanicama tako da se vrijeme ciklusa svake radne stanice podudara sa vremenom takta u što većoj mjeri.



Slika 4.7 Primjer Yamazumi dijagrama [24]

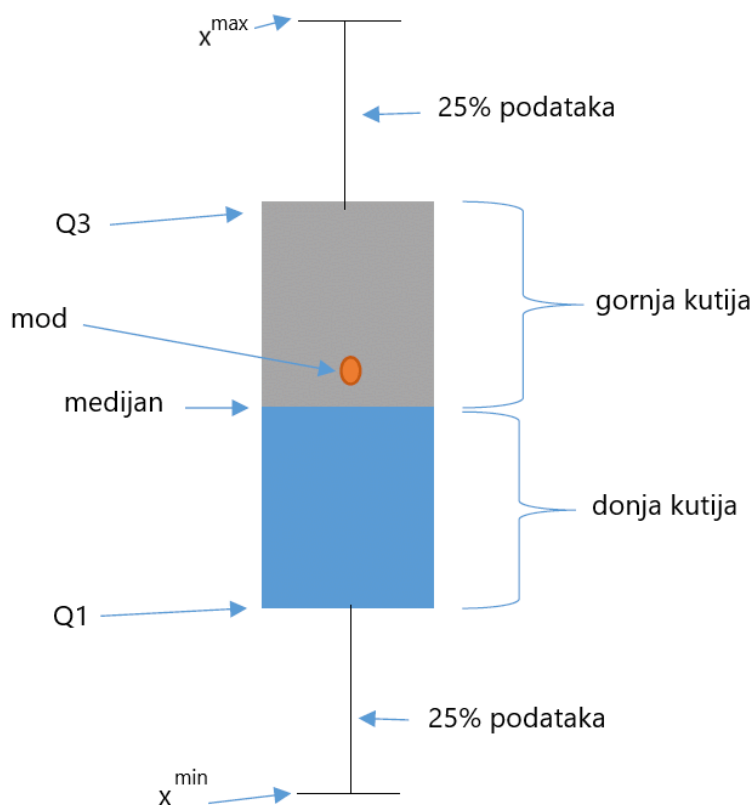
Slikom 4.7 prikazan je primjer jednog Yamazumi dijagrama. Os x predstavlja radne stanice koje su u ovom slučaju prikazane operaterima od jedan do četiri dok os y predstavlja vrijeme. Iz slike je također vidljivo vrijeme ciklusa svakog operatera. Vrijeme ciklusa rada operatera jedan, budući da je najveće predstavlja usko grlo u procesu dok je vrijeme takta definirano vremenom ciklusa proizvodnje posljednjeg operatera u procesu odnosno operatera četiri.

Kako bi se proces bio optimiran, potrebno je eliminirati aktivnosti označene crvenom bojom, reducirati aktivnosti označene žutom bojom te ukoliko je moguće napraviti preraspodjelu aktivnosti na radnim stanicama te po potrebi dodati novu radnu stanicu [23].



### 4.3.2. Boxplot dijagram (kutijasti dijagram)

Boxplot dijagram poznat je još kao i „*Whiskers*“ dijagram te se koristi u svrhu prikazivanja distribucije jedne ili više grupa podataka. Podatci se prikazuju u pravokutnom obliku a njihove vrijednosti dijele se od donjeg do gornjeg kvartila. Središnja linija na dijagramu označava medijan kao vrijednost od koje je 50% podataka manje odnosno veće te se po potrebi može prikazati i mod promatranih podataka odnosno aritmetička sredina vrijednosti podataka. Boxplot uobičajeno se sastoji od četiri dijela u kojem su dva pravokutnika i dva takozvana „*brka*“ te se u svakom od njih nalazi 25% podataka. Isto tako na dijagramu se mogu očitati najveća i najmanja vrijednost promatranih podataka [24].

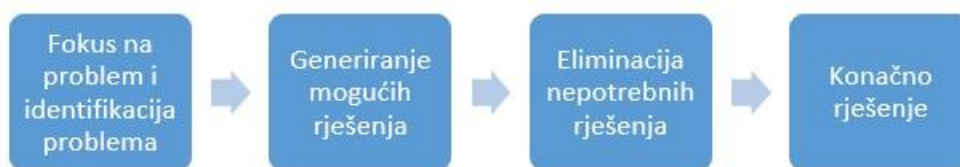


Slika 4.8 Boxplot dijagram [izrada autora prema [25]]

Prednost Boxplot dijagrama u odnosu na klasični prikaz podataka klasičnim linijskim ili stupčastim grafom jest u jasnijem prikazu distribucije numeričkih podataka posebice kada se uspoređuju u kategorijama ili grupama..

#### 4.4. Faza poboljšanja

U četvrtoj fazi DMAIC modela generiraju se moguća rješenja identificiranog problema. Poslovni sustavi imaju više načina za generiranje rješenja no ukoliko je potrebno riješiti problem koji nije očit tada je potrebno razmišljati van okvira te su sposobnosti poput inovativnosti i kreativnosti prioritetne u tom slučaju. U pravilu tijekom definiranja rješenja slijede koraci definirani slikom 4.9 [20].



Slika 4.9 Koraci pri definiranju potencijalnih poboljšanja procesa [izrada autora]

Alati i metode koje se koriste u ovoj fazi DMAIC modela jesu [18]:

- Proces kreativnog dijaloga
- Dijagram afiniteta
- Matrica isplativosti
- Matrica prioriteta
- Plan implementacije.

##### 4.4.1. Proces kreativnog dijaloga

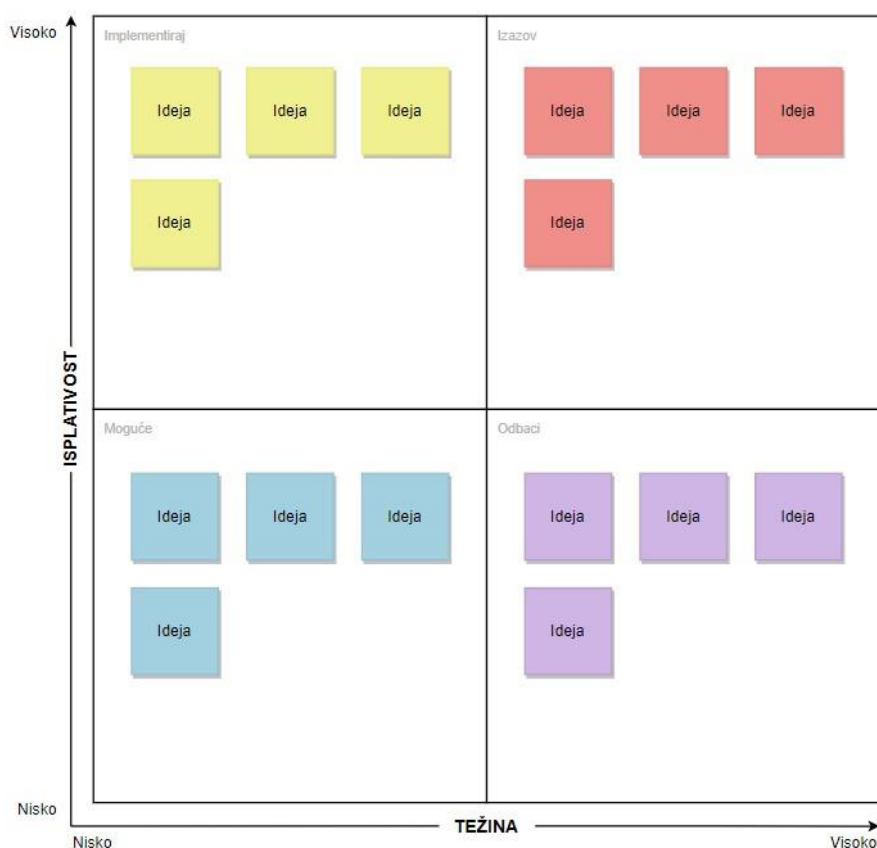
Ovaj relativno jednostavan i lako primjenjiv proces odnosi se kako mu i sam naziv poručuje na suradnju i sastanke unutar projektnog tima na kojima će se generirati potencijalna rješenja problema. Proces kreativnog dijaloga sastoji se od tri faze [20]:

- Otvaranje kreativnog dijaloga
- Sortiranje predloženih opcija
- Zatvaranje kreativnog dijaloga.

U dijelu otvaranja članovi projektnog tima iznose što više ideja kao rješenja problema ustanovljenog u fazi analize. Nakon što su ideje prikupljene kreće njihovo sortiranje u grupe te se otklanja mali dio ideja za koje se smatra da tematski ne odgovaraju promatranom problemu. U zatvaranju kreativnog dijaloga predložene ideje rješavanja se sužavaju što je više moguće sve dok je teško razlučiti koje je rješenje najoptimalnije.

#### 4.4.2. Matrica isplativosti

Matrica isplativosti je alat koji daje bolji uvid u prijedloge poboljšanja te pomaže pri određivanju rješenja koja će poslovnom sustavu donijeti najveću korist a njen primjer prikazan je slikom 4.10.



Slika 4.10 Matrica isplativosti [izrada autora]

Potreban trud i potencijalna dobit koju je potrebno odrediti pri implementiranju poboljšanja direktno ovise o analizi projektnog tima.

Ideje potencijalnih poboljšanja smještaju se u matricu isplativosti upravo u odnosu na uloženi trud koji je potreban za realizaciju poboljšanja te isplativosti koje poboljšanja donose. Uloženi trud odnosi se na resurse poduzeća koji mogu biti financije, vrijeme i materijali dok se potencijalna dobit odnosi na poboljšanja poput veće produktivnosti procesa, smanjenja vremena ciklusa proizvodnje, manje reklamacija i slično.

Kada se dođe do zaključka koje poboljšanje će se implementirati, slijedi izrada implementacijskog plana u kojem se navodi koji se problem rješava, koje područje procesa obuhvaća, koji je cilj poboljšanja te odgovorne osobe. Prije same implementacije potrebno je još provesti simulaciju kako bi se vidjeli učinci poboljšanog procesa.

#### **4.4.3. Simulacijski model**

Kada govorimo o simuliranju procesa u proizvodnji, važno je razumjeti što simulacija zapravo jest. Simulacija je oponašanje operacija procesa, sustava ili realnog svijeta, razvojem simulacijskog modela koji ima skup pretpostavki (matematičke, logičke i druge pretpostavke) vezanih uz rad sustava. Simulacijski sustav definiran je kao skup zasebnih jedinica tj. entiteta koji uzajamno rade kako bi postigli željeni logički završetak dok je simulacijski model definiran kao pojednostavljenje sustava koji sadrži relevantne komponente za proučavani problem. Nakon što se razvije i validira, simulacijski model se može koristiti za testiranje raznolikog spektra hipoteza o sustavu u realnom okruženju. Simulacijski model se tako može koristiti kao analitički alat za predviđanje učinaka promjena postojećih sustava kao i alat za predviđanje performansi novih sustava [25].

Faze simulacijskog projekta mogu se podijeliti u 4 grupe [25]:

1. Planiranje – u ovoj fazi projektanti simulacija se bave formuliranjem problema i cilja koji se želi postići izvođenjem simulacije
2. Modeliranje – ova faza dijeli se na još četiri podskupine
  - a) Konceptualizacija – sustav se pretvara u model
  - b) Prikupljanje podataka – definiranje atributa entiteta
  - c) Translacija modela – pretvaranje modela u računalni program
  - d) Verifikacija i validacija - provjera da li se proučavani model ponaša prema konceptu i provjera valjanosti modela

3. Simuliranje i analiza – sastoji se od dizajniranja i izvođenja eksperimenta te analize rezultata
4. Dokumentiranje i implementacija – dokumentiranje se odnosi na pohranjivanje simulacija te izrade izvješća dok se implementacija odnosi na primjenu rezultata simulacije u realnom okruženju.

Simulacijski model se isplati izrađivati u slučaju kada u poduzeću postoje složene strukture i način rada sustava uz prisustvo dinamike i nestacionarnosti rada sustava no ukoliko je sustav previše složen ili se problemi mogu riješiti zdravorazumski, pokusima ili analitičkim rješenjima, tada se ne isplati koristiti simulacijski model.

#### 4.5. Faza kontrole

Posljednja faza DMAIC modela je faza kontrola koja služi kako bi se održala implementirana poboljšanja a njihovi rezultati pratili. U ovoj se fazi nastoji standardizirati implementirana poboljšanja što se najčešće radi uz pomoć određenih alata od kojih su najučestaliji [18]:

- Radne upute
- Statistička kontrola procesa
- Kontrolni plan procesa
- Pregled rezultata.

Ovi alati koriste se u obliku dokumentacije a u svrhu kontrole procesa najčešće se koriste radne upute. Radne upute izrađuju se u skladu s provedenim poboljšanjima te je cilj njihova uvođenje u proces postavljanje određenog standarda rada kojeg bi se zaposlenici trebali držati te služe kao dokument za obučavanje novih zaposlenika. Osim izrade uputa, potrebno je kontinuirano prikupljati podatke o performansama entiteta promatranog procesa. U tu svrhu se koriste tehnike statističke kontrole procesa kako bi se prikupljali i analizirali podatci prikupljeni na dnevnoj bazi.

Uz radne upute i statističku kontrolu u novi poboljšani proces potrebno je također uvesti i kontrolni plan procesa koji se najčešće uvodi u obliku kontrolnih karata ili karata poboljšanja procesa. Njima se prikazuje kretanje pojedinih elemenata u procesu te se kontrolira je li tok promatranog elementa unutar dozvoljenih granica. Naposljetku se u fazi kontrole može još provesti usporedba procesa sa i bez implementiranih poboljšanja [20].

## 5. LEAN SIX SIGMA PROJEKT

U ovom poglavlju diplomskog rada biti će primijenjeni prethodno opisani alati korišteni U Lean Six Sigma metodologiji. Odabrano poduzeće u kojem je proveden jedan DMAIC ciklus jest Končar – MALI ELEKTRIČNI STROJEVI d.d.

### 5.1. O poduzeću

Tvrtka KONČAR - MALI ELEKTRIČNI STROJEVI d.d. (KONČAR - MES) je hrvatska tvrtka koja projektira i proizvodi širok spektar elektromotora (kočioni motori, protueksplozijski motori, jednofazni motori, sinkro reluktantni motori, brodski motori, specijalni motori itd.) i ventilatora (aksijalni ventilatori, centrifugalni ventilatori, proueksplozijski ventilatori) te nudi usluge industrijskih rješenja. KONČAR - MES proizvodi proizvode visoke kvalitete zahvaljujući dugogodišnjem iskustvu i tradiciji, visoko stručnom znanju te konstantnim ulaganjima u istraživanja i poboljšanja proizvodnje.



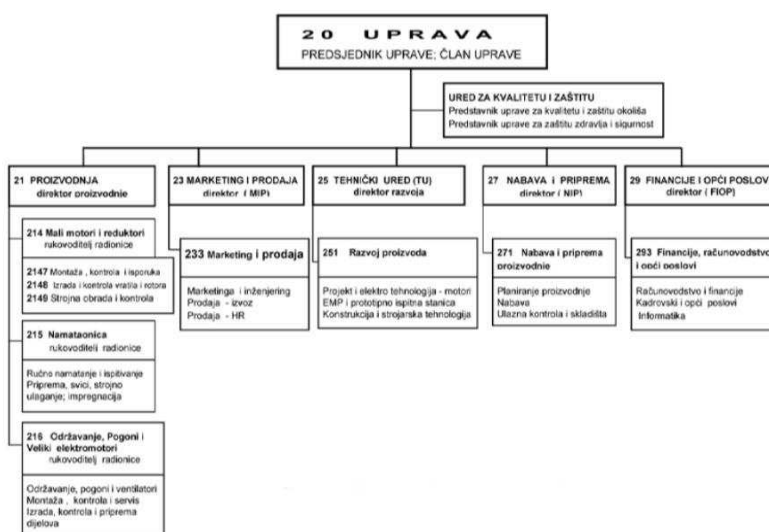
Slika 5.1 Zgrada poduzeća Končar - MES

**Vizija** „Težimo konstantnom rastu na području razvoja i inoviranja naših proizvoda i usluga, te zajedno sa ispunjenjem potreba naših kupaca želimo osigurati poslovnu stabilnost i sigurno okruženje za naše zaposlenike.“

**Misija** „Konstantnim ulaganjem u ljude, tehnologiju i naše proizvode težimo osnaživanju našeg brenda i kontinuiranom pronalaženju novih OEM kupaca u HR, regiji i inozemstvu. Kvalitetom i poznavanjem potreba naših kupaca želimo zadržati i povećati njihovo povjerenje, te rad i razvoj tvrtke temeljiti na društveno odgovornom poslovanju.“

**Strategija** „Glavni cilj nam je osiguranje potrebne kvalitete naših proizvoda kroz implementirane sustave kvalitete i investicije u tehnologiju, razvoj novih proizvoda sukladno tehnološkim trendovima kroz stalno ulaganje u naše zaposlenike te očuvanje našeg okoliša i zajednice kroz pametno korištenje dostupnih resursa.“

Organizacijska struktura društva KONČAR - MES prikazana je slikom 5.2. Iz slike je vidljivo kako je na vrhu hijerarhije uprava odnosno predsjednik uprave dok su na nižoj hijerarhijskoj razini divizije od proizvodnje do financija i općih poslova. Ovaj Lean Six Sigma projekt napravljen je pod mentorstvom direktora proizvodnje te u suradnji s projekt menadžerom iz divizije tehnički ured.



Slika 5.2 Organizacijska struktura poduzeća Končar – MES [27]

Potreba za poboljšanjem proizvodnje, implementiranjem *Lean* načela proizvodnje te samim tim i provođenjem Lean Six Sigma projekta unutar poduzeća, proizlazi iz sve većih potraživanja kupaca. Uvid u potraživanja kupaca, poslovne prihode, investicije itd., prikazan je slikom 5.3.

u kn	Ostvarenje 2020.	Plan 2021.	Ostvarenje 2021.	Plan 2022.	Indeks 21./20.	Indeks 21./pl21.	Indeks pl22./21.
<b>Poslovni prihodi</b>	93.483.396	102.800.000	<b>112.985.664</b>	118.100.000	120,9	109,9	104,5
Prihodi od prodaje - ukupno	91.709.416	101.000.000	<b>110.534.685</b>	116.000.000	120,5	109,4	104,9
Prihodi od prodaje – HR povezano	7.957.602	8.500.000	<b>8.180.480</b>	9.200.000	102,8	96,2	112,5
Prihodi od prodaje - HR nepovezano	13.424.726	17.500.000	<b>12.224.486</b>	16.800.000	91,1	69,9	137,4
Prihodi od prodaje - izvoz	70.327.088	75.000.000	<b>90.129.719</b>	90.000.000	128,2	120,2	99,9
<b>Poslovni rashodi</b>	82.209.508	93.410.000	<b>98.822.196</b>	105.473.000	120,2	105,8	106,7
<b>Operativna dobit</b>	11.273.888	9.390.000	<b>14.163.468</b>	12.627.000	125,6	150,8	89,2
Operativna marža	12,3%	9,3%	<b>12,8%</b>	10,9%	104,2	137,8	85,0
Dobit prije oporezivanja	12.196.776	11.150.000	<b>14.004.239</b>	12.765.000	114,8	125,6	91,2
<b>Neto dobit</b>	9.969.247	9.250.000	<b>11.746.287</b>	10.435.000	117,8	127,0	88,8
EBITDA	16.522.426	16.250.000	<b>18.491.005</b>	17.865.000	111,9	113,8	96,6
EBITDA marža	18,0%	16,1%	<b>16,7%</b>	15,4%	92,9	104,0	92,1
<b>Operativna EBITDA</b>	15.599.538	14.490.000	<b>18.650.234</b>	17.727.000	119,6	128,7	95,0
Operativna EBITDA marža	17,0%	14,3%	<b>16,9%</b>	15,3%	99,2	117,6	90,6
<b>EBITDA normalizirana*</b>	14.874.000	14.490.000	<b>17.892.000</b>	17.165.000	120,3	123,5	95,9
EBITDA marža normalizirana*	16,2%	14,3%	<b>16,2%</b>	14,8%	99,8	112,8	91,4
<b>INVESTICIJE</b>	6.491.000	6.000.000	<b>6.575.000</b>	17.530.000	101,3	109,6	266,6
<b>AMORTIZACIJA</b>	4.325.650	5.100.000	<b>4.486.766</b>	5.100.000	103,7	88,0	113,7
<b>Ugovoreni poslovi</b>	94.100.000	99.000.000	<b>128.402.000</b>	118.762.000	136,5	129,7	92,5
Back log 01.01.	4.994.000	7.000.000	<b>7.000.000</b>	19.738.000	140,2	100,0	282,0
Back log 31.12.	7.000.000	5.000.000	<b>24.868.000</b>	22.500.000	355,3	497,4	90,5
Indeks	140,2%	71,4%	<b>355,3%</b>	114,0%	253,5	497,4	32,1
<b>Book to bill ratio</b>	1,0	1,0	<b>1,2</b>	1,0	113,2	118,5	88,1
<b>Broj zaposlenih</b>	191	195	<b>206</b>	210	107,9	105,6	101,9
<b>Novostvorena vrijednost po zaposlenom u (000 kn)</b>	227,7	234,8	<b>249,9</b>	242,0	109,7	106,4	96,8
Vrijeme naplate kratkot. potraživanja od kupaca u danima	51	46	<b>48</b>	38	94,3	103,9	79,2
Vrijeme plaćanja dobavljačima u danima	55	51	<b>53</b>	47	95,8	105,0	88,7

Slika 5.3 Pokazatelji uspješnosti poslovanja Končar – MES d.d. [27]

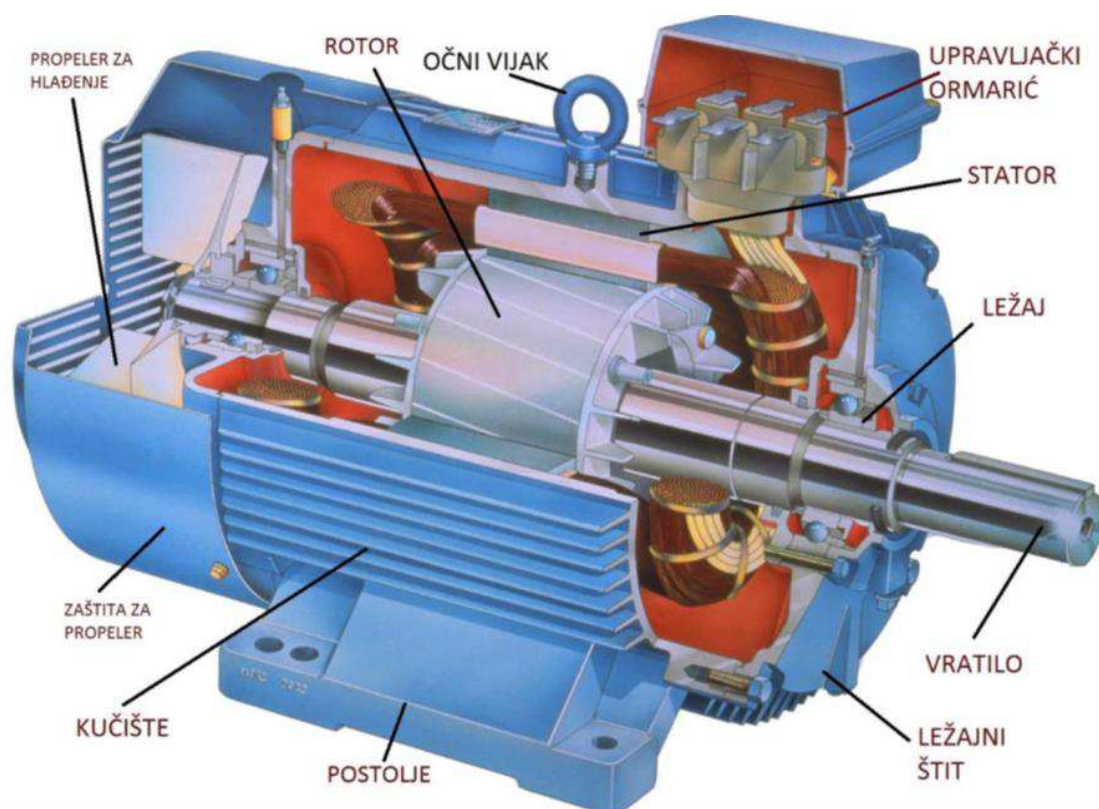


## 5.2. Elektromotori i proizvodni proces

Elektromotor se sastoji od dva elementarna dijela:

- Fiksni dio (stator)
- Pomični dio (rotor).

Princip rada elektromotora u njegovoj klasičnoj izvedbi se temelji na tome da vanjski dio (stator) miruje dok unutarnji dio (rotor) rotira. Između statora i rotora nalazi se zračni raspor u kojem se održava stvoreno elektromagnetsko polje. Rotor i stator imaju proreze u smjeru osi vrtnje te se u njima nalaze namoti bakrenih žica. Uzevši u obzir smještaj vratila, elektromotori mogu biti postavljeni horizontalno ili vertikalno. Shodno smještaju vratila u elektromotoru odabire se vrsta ležaja koji omogućavaju smanjenje trenja i gubitaka kao i središnji položaj rotora tijekom rotacije te aksijalni pomak rotora. Tijekom rada elektromotora oslobađa se toplina te u svrhu hlađenja elektromotori moraju imati veću rashladnu površinu dobivenu konstrukcijskim rješenjem rebara te korištenjem ventilatora [28].



Slika 5.4 Elektromotor i njegovi dijelovi [28]

Proizvodnja elektromotora odvija se u isto vrijeme na više proizvodnih stanica kako bi se skratilo vrijeme ciklusa proizvodnje. Na proizvodnoj stanici za namatanje bakrene žice se namataju strojno ili ručno u aksijalne utore na statoru. Istovremeno se na drugoj radnoj stanici na CNC strojevima izrađuju dijelovi elektromotora poput vratila, ležajnih štitova, kućišta, statora i drugih, no ponekad u proizvodni proces dijelovi elektromotora dolaze kao gotovi proizvodi izrađeni od strane kooperanata. Nakon što je statorski paket montiran, kontrola kvalitete provodi ispitivanja nakon kojih se statorski paket transportira do radne stanice za impregnaciju. Impregnacijom se statorski paket premazuje određenim smolama zbog dodatne zaštite nakon čega se zagrijava na temperaturi od 220°C na kojoj se zadržava osam sati. Kućište elektromotora koje, kako je već navedeno, dolazi od strane drugih proizvođača ili se proizvodi u samom pogonu, ponekad je potrebno modificirati. Neke od najučestalijih modifikacija na kućištu su bušenje dodatnih navojnih rupa koje omogućuju spajanje s priključnim ormarićem, skidanje srhova te dodatna obrada dosjednih rupa. Prije transporta svih elemenata elektromotora na montažnu liniju vrši se još i uprešavanje statora u kućište.



**Slika 5.5** Kočioni motor na skladištu [slika iz proizvodnog pogona]

Na montažnoj liniji, na kojoj će se i provesti ovaj Lean Six Sigma projekt, vrše se razni postupci sa gotovim dijelovima. Oni mogu varirati u ovisnosti o tipu elektromotora, međutim na svakoj varijanti elektromotora većina operacija je identična. Tako montaža elektromotora započinje s montažom priključka i montiranjem označne pločice elektromotora nakon čega se vrši montaža motora i mehanička kontrola. Nakon mehaničke kontrole na drugoj radnoj stanici vrši se štampanje natpisne pločice i etikete prema podacima s pločice, elektroispitivanje i popunjavanje dokumentacije. Jednom kada su prethodne radnje izvršene, vrši se prigradnja i spajanje kočnice na motor te još jednom elektroispitivanje. Po završetku drugog elektroispitivanja provodi se lijepljenje brtve, zatvaranje motora i popunjavanje dokumentacije. Kada su motori zatvoreni, kontrola kvalitete obavlja kontrolu mjera, odziva i momenta nakon čega se elektromotori zavješavaju te su dvoslojno ličeni sa međusušenjem. Prije same isporuke krajnjim korisnicima, provodi se završna kontrola i pakiranje elektromotora.



**Slika 5.6 Radna stanica na montažnoj liniji [slika iz proizvodnog pogona]**

### 5.3. Lean Six Sigma projekt

Metodologiju Lean Six Sigme čini specifičan ciklus koji se mora slijediti kao i aktivnosti koje je potrebno izvršiti. U ovom projektu odrađen je jedan takav DMAIC ciklus u kojem su napravljeni svi njegovi dijelovi, od definiranja problema i njihovih uzroka, do implementacije rješenja odnosno prijedloga na koji način poboljšati proces montaže i kontrole.

#### 5.3.1. Faza defniranja

##### 5.3.1.1. Projektna povelja

Prije provođenja Lean Six Sigma projekta, potrebno je zabilježiti osnovne podatke o projektu. Dokumentacija je neophodna kako bi se olakšao prijenos informacija o projektu u cijelom poslovnom sustavu a prvi dokument koji je potrebno izraditi jest projektna povelja. Projektnu povelju čini osam glavnih informacija, a to su definicija problema, ciljevi projekta, opseg projekta, ključna mjerenja, isporučeni materijali, iskoristive mogućnosti, projektni tim i vremenska domena u kojoj će se projekt provoditi.

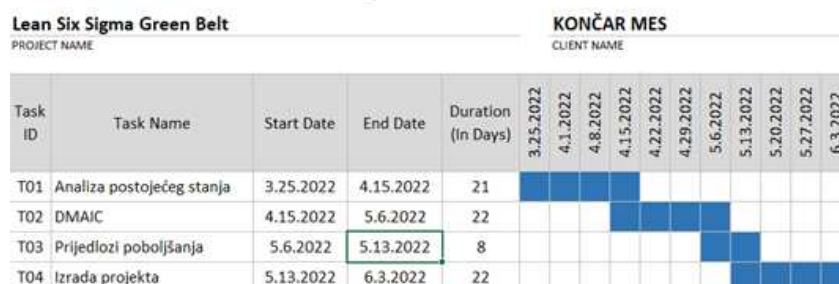
Budući da su zahtjevi kupaca za isporuku motora 20% veći nego prije, postoji potreba za smanjenim vremenom montaže AZK motora. Ciljevi projekta jesu provesti DMAIC proceduru te primijeniti alate i znanja stečena pohađanjem Lean Six Sigma Green Belt tečaja u svrhu smanjenja takta montaže AZK motora te istovremeno radnicima olakšati posao montiranja. Opseg projekta obuhvaća dvije lokacije unutar poduzeća KONČAR - MES a to su dio proizvodnog pogona za montažu te ured razvoja proizvodnje. U provedbu Lean Six Sigma Green Belt projekta, osim članova tima nabrojanih u projektnoj povelji, prikazanom tablicom 5.1 također će biti uključeni i svi radnici koji sudjeluju u montaži AZK motora. Pri analizi rezultata dobivenih mjerenjima, fokus će biti na pronalasku uzroka problema te pronalasku njegovog rješenja. U ostvarivanju ciljeva projekta, primarno će biti korištena znanja i alati stečeni pohađanjem Lean Six Sigma Green Belt tečaja, dok će prijašnje radno iskustvo te poznavanje inženjerskih softvera također biti od koristi.

Definicija problema	Ciljevi projekta	Opseg projekta	Projektni tim
Zahtjevi kupaca su za 20% veći nego prije što uzrokuje preopterećenje kapaciteta na montaži elektromotora. Učestalo nakupljanje elektromotora na radim jedinicama i kolicima za transport.	Ukloniti nesukladnosti u montaži i smanjiti vremena transporta elektromotora između radnih stanica.	Opseg projekta obuhvaća zgradu proizvodnog pogona Končar MES-a te ured razvoja proizvodnje.	Sponzor <ul style="list-style-type: none"> <li>Poduzeće Končar – Mali električni strojevi d.d. (KONČAR MES)</li> </ul> Voditelj projekta <ul style="list-style-type: none"> <li>Ivan Valentić, student</li> </ul>
<b>Ključna mjerenja procesa</b>  Vrijeme montaže po radnim jedinicama. Vrijeme transporta elektromotora.	<b>Isporučeni materijali</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Povelja o projektu</li> <li>SIPOC dijagram</li> <li>Mapa procesa</li> <li>Yamazumi dijagram</li> <li>Boxplot dijagram</li> <li>Pareto dijagram</li> <li>Matrica isplativosti</li> <li>Prijedlozi ključnih poboljšanja</li> </ul>	<b>Iskoristive mogućnosti</b>  Izuzev implementacije ključnih poboljšanja, uvid u analizu i usporedbu sa prijašnjim i trenutnim stanjem, poduzeće može iskoristiti i primijeniti korištene alate i na druge procese unutar svoje radne domene.	Tim <ul style="list-style-type: none"> <li>Miro Hegedić, doc.dr.sc., mentor u izradi diplomskog rada</li> </ul> Predstavnici poduzeća <ul style="list-style-type: none"> <li>Marko Šaban, direktor proizvodnje</li> <li>Danijel Kereković, projektni inženjer</li> </ul>

Tablica 5.1 Projektna povelja



## PLAN PROVOĐENJA PROJEKTA



Slika 5.7 Vremenski okvir provođenja projekta

## 5.3.1.2. SIPOC mapa

Nakon definiranja projektne povelje, sljedeći korak u definiranju Lean Six Sigma projekta jest izrada SIPOC mape koja služi za prikaz složenih procesa i identifikaciju poboljšanja istih.



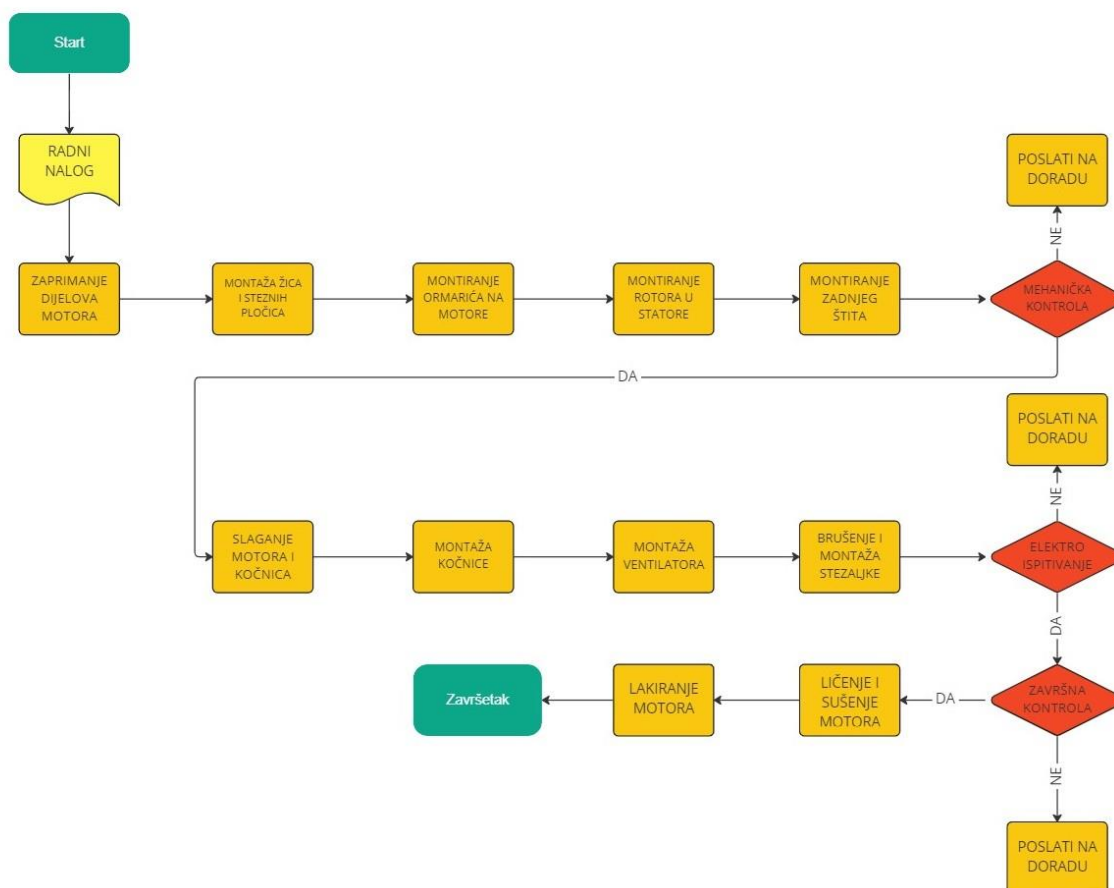
Slika 5.8 SIPOC mapa

Na slici 5.8 se može vidjeti kako su dobavljači materijala koji ulazi u sam proces montaže elektromotora osim krajnjih kupaca i proizvodni pogon i skladište dijelova motora koje distribuira potrebne dijelove i poluproizvode. Pod pojmom ulaza podrazumijevaju se svi materijali i radne upute dane radnicima a najučestaliji su navedeni na slici 5.8 pod stupcem „Input“. Sam proces započinje zaprimanjem radnih naloga na temelju kojih se pri montiranju elektromotora koriste odgovarajući dijelovi i materijali te se kroz sve navedene korake u stupcu „Process“ obavlja montaža elektromotora.

### 5.3.2. Faza mjerenja

#### 5.3.2.1. Dijagram toka

Na početku faze mjerenja potrebno je provesti analizu procesa te ga mapirati kako bi se steklo dublje razumijevanje tijeka procesa. Mapiranje procesa provedeno je izradom dijagrama toka procesa. Razlika između dijagrama toka procesa i SIPOC dijagrama je u tome što se dijagramom toka ulazi dublje u strukturu cijelog procesa. U ovom slučaju, dijagram toka procesa je napravljen kako bi se dobio bolji uvid u probleme koji su navedeni u projektnoj povelji, a to su nagomilavanje elektromotora na radnim jedinicama i kolicima za transport te preopterećenost kapaciteta na montaži.



Slika 5.9 Dijagram toka za proces montaže elektromotora

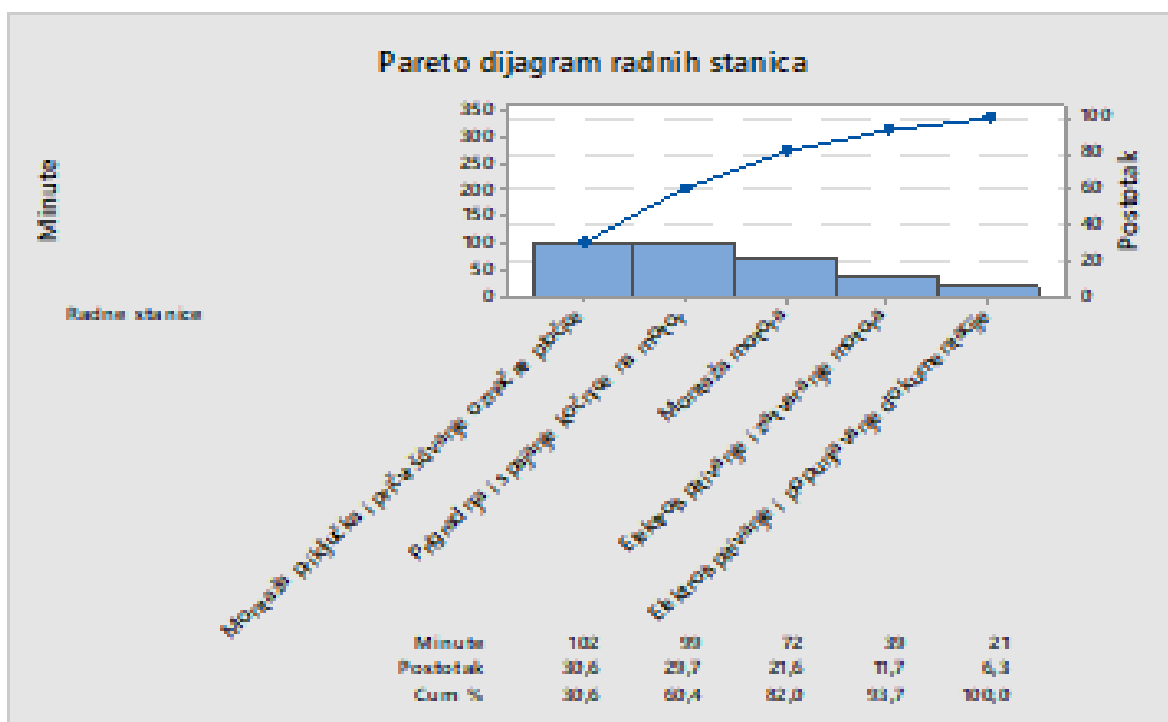
Detaljniji i mapiran prikaz montaže motora prikazan je slikom 5.9, a može se podijeliti u šest glavnih aktivnosti:

1. Zaprimanje radnih naloga – prije samog procesa montaže radnici na montažnoj liniji zaprimaju radne naloge te sukladno njima pripremaju određene alate i materijale potrebne za montažu elektromotora.
2. Montaža priključka – radnici započinju prvu glavnu aktivnost u montaži elektromotora slaganjem statora motora na radni stol te odmatanjem žica i stavljanjem spužvi unutar kućišta. Nakon toga slijede montaža steznih pločica i stavljanje podložaka koji se potom spajaju s bakrenim žicama i fiksiraju pomoću matica.
3. Montaža motora – na motore se montira ormarić i gumene matice dok se istovremeno obavlja manipulacija ležajevima odnosno toplinska deformacija ležaja. Nakon zagrijavanja ležaja obavlja se nabijanje rotora u stator te završna aktivnost montaže ležajnog štita i nabijanja klinova.
4. Elektro ispitivanje i popunjavanje radne dokumentacije – nakon montaže priključka i motora potrebno je provesti elektro ispitivanje elektromotora mjereći otpornost između priključnih namotaja na elektromotoru te popuniti dokumentaciju. Potrebno je napomenuti kako je ova aktivnost vrlo dobro „uhodana“ od strane radnika koji ju obavljaju te ju s toga nema potreba poboljšavati ali unatoč tomu ona je neophodna za proizvodnju elektromotora te je neizostavna u procesu montaže elektromotora te s toga ulazi u sam proces.
5. Prigradnja i spajanje kočnice za motor – jednom ispitani motori transportiraju se kolicima na radno mjesto prigradnje i spajanje kočnice na motor. Ova aktivnost započinje slaganjem motora na radnu jedinicu te postavljanjem klina unutar osovine elektromotora. Nakon toga je slijede donošenje prethodno montiranih kočnica te postavljanje glavina i tarnih limova na elektromotor te njihovo spajanje pomoću vijaka i podložaka. Prije same montaže ventilatora i spajanja kablova pomoću reznih stezaljki, potrebno je još obaviti i montažu zaštitne gume te provlačenje kablova i postavljanja stopica na iste.
6. Završno ispitivanje – elektromotori se nakon montaže kočnice postavljaju na kolica te odvoze u lift na drugi kat gdje se vrši završno ispitivanje i kontrola kvalitete (kontrola mjera, odziva i momenta). Ovo je također uhodana aktivnost kao i aktivnost četiri te ovdje nema potrebe za implementaciju poboljšanja.



### 5.3.2.2. Pareto dijagram

Na slici 5.10 nalazi se Pareto dijagram kojim se analiziralo vrijeme potrebno za ciklus montaže elektromotora na ranije opisanim radnim stanicama. Na x osi dijagrama označene su radne stanice dok je na y osi definirano vrijeme i postotak. Svaki stupac predstavlja jednu radnu stanicu u procesu montaže dok visina stupca označava vrijeme koje je potrebo kako bi se na pojedinoj radnoj stanici izvršile sve aktivnosti vezane uz montažu elektromotora. Iz dijagrama se još može očitati i postotak vremena u ukupnom vremenu koji je potreban za izvršavanje aktivnosti svake radne stanice, a postotci pojedinih radnih stanica izraženi su i linijom koja spaja točke iznad stupaca.



Slika 5.10 Pareto dijagram radnih stanica

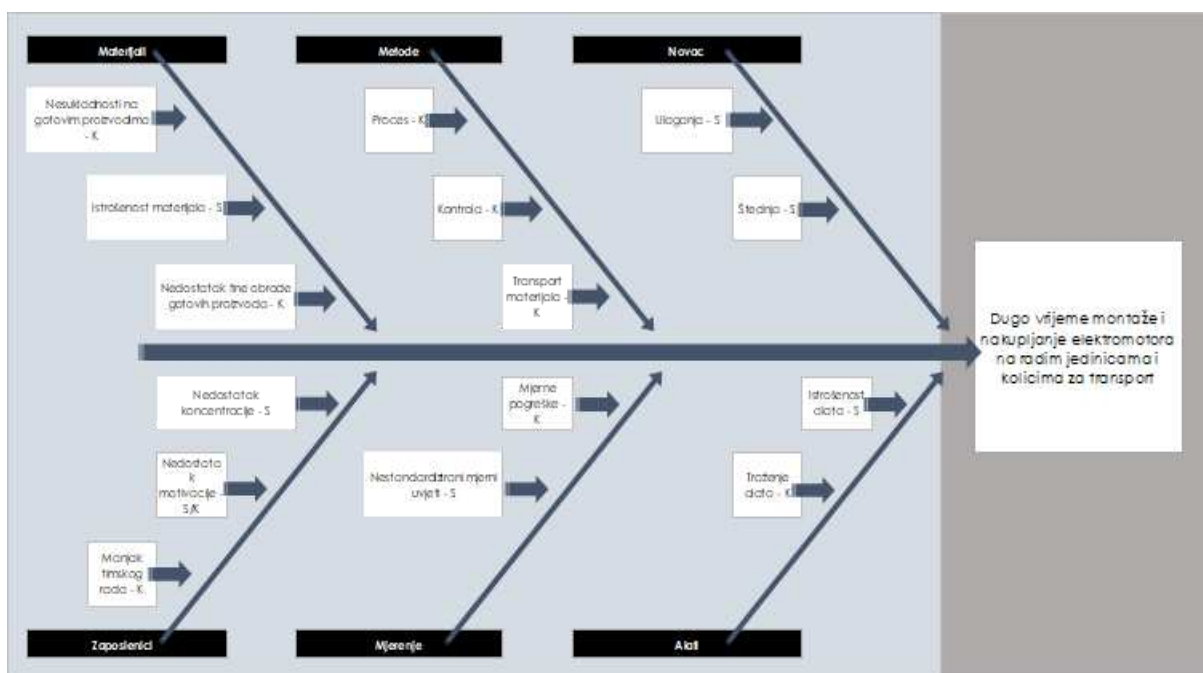
Prilikom mjerenja vremena potrebnih za montažu 10 elektromotora tipa AZK, utvrđeno je kako je za montažu bilo potrebno sveukupno 333 minute dok je proces montiranja najviše trajao na sljedećim radnim stanicama: 102 minute na radnoj stanici montaža priključka i pričvršćivanje označne pločice, 99 minuta na radnoj stanici prigradnja i spajanje kočnice te 72 minute na radnoj stanici montaže motora. Isto tako na ovim radnim stanicama primijećeno je i najviše nesukladnosti i nagomilavanja elektromotora te će s toga u fazi analiziranja fokus biti upravo na ove tri radne stanice.

### 5.3.2.3. Dijagram riblje kosti (Ishikawin dijagram)

Nakon mapiranja procesa i određivanja vremena ciklusa proizvodnje, potrebno je analizirati elemente sustava a korak koji slijedi nakon toga jest funkcijska analiza. Ovaj korak treba se provesti kako bi se odredili mogući faktori koji djeluju na sam proces montaže. Alat koji se najučestalije koristi za ovaj korak jest dijagram riblje kosti ili Ishikawa dijagram. Ovaj dijagram često se može u literaturi pronaći i kao 7M metoda jer 7 elementa uključuje:

1. Materijali — (engl. *Materials*)
2. Metode — (engl. *Methods*)
3. Majka priroda — (engl. *Mother nature*)
4. Novac — (engl. *Money*)
5. Ljudska radna snaga/zaposlenici — (engl. *Manpower*)
6. Strojevi — (engl. *Machinery*)
7. Mjerenje — (engl. *Measurement*).

Jedan takav dijagram za proces montaže elektromotora prikazan je slikom 5.11. Prvi korak u izradi ovog dijagrama je odrediti broj kosti odnosno broj M-ova (broj elemenata koji djeluju na promatrani proces). S obzirom na to da je proizvodni pogon poduzeća smješten u hali, može se zanemariti efekt prirode na sam proces.



Slika 5.11 Ishikawin dijagram za identificirani problem

Kada se odredio broj elemenata koji utječu na proces, slijedi određivanje mogućih uzroka problema. Pri određivanju uzroka problema promatranih elemenata koji utječu na proces montaže, potrebno im je dodijeliti oznaku K (uzroci koji se mogu kontrolirati) ili S (uzroci koji se ne mogu kontrolirati i predstavljaju smetnje u radu). Iz dijagrama se može očitati da se na dugo vrijeme montaže te na nagomilavanje elektromotora na transportnim kolicima utječe:

- kroz materijale: nesukladnosti na gotovim proizvodima, istrošenost materijala te nedostatak fine obrade na gotovim dijelovima elektromotora
- kroz metode: nesukladnosti u procesu montaže, neučinkovit transport elektromotora i poluproizvoda te način kontrole kvalitete
- kroz novac: mogućnost pogrešno usmjerenih novčanih ulaganja
- kroz zaposlenike: nedostatak koncentracije i motivacije te izostanak timskog rada
- kroz mjerenja: neumjerenost mjernih uređaja te nestandardizirani mjerni uvjeti
- kroz alate: istrošenost alata te izostanak alata s radnih jedinica.

Iz kreiranog Ishikawa dijagrama može se primijetiti da se na većinu uzroka može na neki način utjecati, što znači da je bitno osvijestiti zaposlenike tvrtke o problemima kako bi se oni mogli rješavati. Isto tako važno je napomenuti kako se uzroci problema rješavaju kroz komunikaciju sa zaposlenicima koji rade na procesu montaže elektromotora.

#### 5.3.2.4. Analiza potencijalnih problema (PPA analiza)

Sljedeći korak u fazi mjerenja jest provesti analizu rizika i neuspjeha. U upravljanju rizicima prilikom mjerenja vremena i promatranja samog procesa temeljna je osviještenost mjeritelja/promatrača o stanju u kojem se promatrani sustav trenutno nalazi. Nakon identifikacije rizika u procesu slijedi njihovo vrednovanje što omogućuje određivanje najprioritetnijih rizika te na kraju djelovanje i upravljanje rizicima. Alat koji se koristi kao dio Lean Six Sigma pristupa upravljanju rizicima jest analiza potencijalnih problema (engl. *PPA-Potential Problem Analysis*). Ovaj alat je osmišljen kako bi se navelo što više ključnih potencijalnih problema povezanih s procesom, kako bi se utvrdile njihove posljedice i zatim procijenio rizik i mogućnost prevencije.

Plan/Akcija /Zadatak	Potencijalni problemi	Posljedice	Mogući uzroci	Stupanj ozbiljnosti	Učestalost	Preventivne radnje	Kontingente radnje	Okidači kontingentnih radnji
Montiranje označne pločice	Nesukladnosti promjera rupa na pločici	Dorada označnih pločica i duže vrijeme montaže	Izostanak komunikacije između odijela u poduzeću, loša organizacija	9	3	Uvođenje novog ERP susta, češći sastanci odijela unutar poduzeća	Dorada proizvoda	Premali promjer rupe na pločici u odnosu na vijak
Čitanje radnih naloga	Usporeni rad, čekanje	Manje montiranih elektromotora	Loša čitljivost radnih naloga	3	9	U radnom nalogu ispod aktivnosti označiti materijale koje ona koristi	Listanje kroz radni nalog	Dugo vrijeme pronalaska materijala potrebnog za montažu unutar radnog naloga
Montaža kočnice na motor	Podješavanje visine kočnice	Iziskuje veliki trud radnika i produljenje vremena montaže	Nesukladnosti na kočnicama naručenih od strane dobavljača	9	6	Provjeriti ispravnost kompletno montiranih elektromotora, izdvojiti motore koje buče	Reći radnicima da više ne moraju provjeravati visinu kočnice prilikom montaže	Buka struganja pakne
Manipulacija ležajevima	Ležajevi dolaze u nepraktičnom pakiranju	Dulje vrijeme otvaranja pakiranja ležaja	Nedovoljna komunikacija između radnika i poslovođa	6	8	Nabava ležaja u pakiranjima koja ne sadrže pojedinačne ležajeve	Istovremeno zagrijavanje ležajeva o obavljanje posla montaže	Pritužbe radnika na nepraktično pakiranje ležajeva
Transport elektromotora	Dugo vrijeme transportiranja elektromotora	Zastoj u montaži	Loša povezanost radnih stanica	7	10	Smislenije povezati sve radne stanice	Odnosenje ispitanih elektromotora na kolica za transport te voženje kolica u lift	Vizualno zapažanje nagomilavanja elektromotora na liniji za montažu
Montaža priključka, motora i kočnice	Izostanak potrebnih alata i materijala na radnoj stanici	Dulje vrijeme montaže	Nestandardizirano radno mjesto	5	9	Uvesti 5S metodu organizacije radnog mjesta	Traženje alata i materijala/poluprodukcije po pogonu	Radnici ne mogu naći potrebne alate i materijale na radnoj jedinici
Montiranje ormarića	Zastoj na montažnoj liniji	Nagomilavanje motora na radnoj jedinici	Nedovoljan broj radnih stanica	5	5	Dodatna radna stanica za pomoćne poslove u montaži	Opskrba radne stanice s unaprijed montiranim ormarićima	Gubitak protočnosti rada u montaži
Montaža ventilatora	Čišćenje srha na osovini elektromotora	Dulje vrijeme montaže	Izostanak fine obrade strojnih dijelova	2	6	Dodatna radna stanica za pomoćne poslove u montaži	Opskrba radne stanice s elektromotorima koji ne zahtijevaju doradu	Čišćenje srha prije montaže ventilatora
Pričvršćivanje dijelova bušilicom	Bušilica nema dovoljno snage te ne uspijeva do kraja pričvrstiti vijak	Dulje vrijeme montaže	Istrošenost alata, neadekvatni alat za rad	3	5	Nabava novih bušilica	Ručna improvizacija s neadekvatnom bušilicom	Nezadovoljstvo radnika alatom.

Tablica 5.2 PPA analiza

Tablicom 5.2 prikazana je primjena alata analize potencijalnih problema a problemi koji su ocjenjeni kao najkritičniji istaknuti su podebljanim linijama unutar tablice.

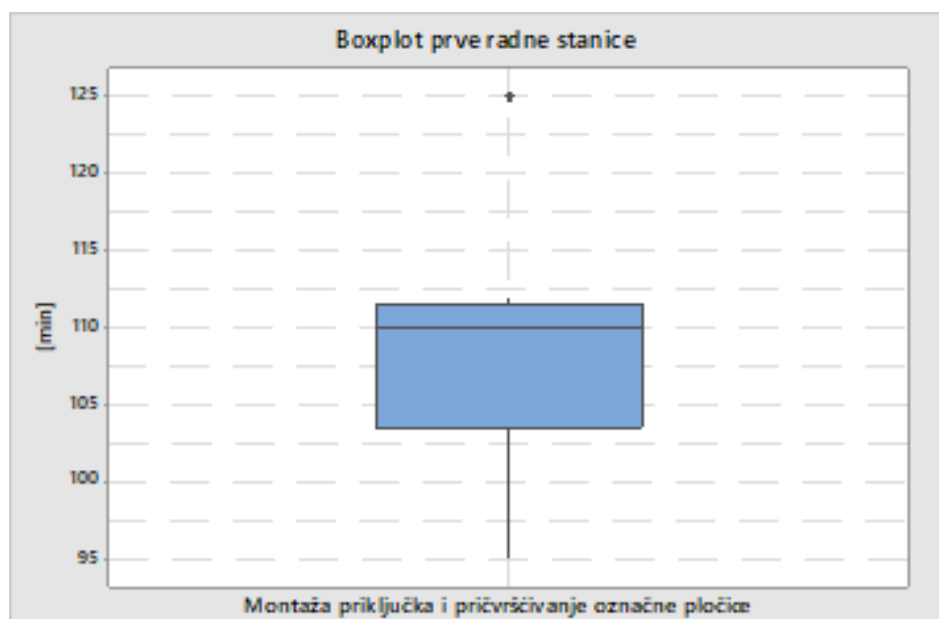
### 5.3.3. Faza analize

Obzirom na podatke dobivene mjerenjima i zaključcima iz faze mjerenja, u fazi analize najviše pažnje će se posvetiti na transport motora između radnih stanica te na sam posao montiranja elektromotora na radnim stanicama montaže priključka, motora i kočnice.

#### 5.3.3.1. Boxplot dijagram

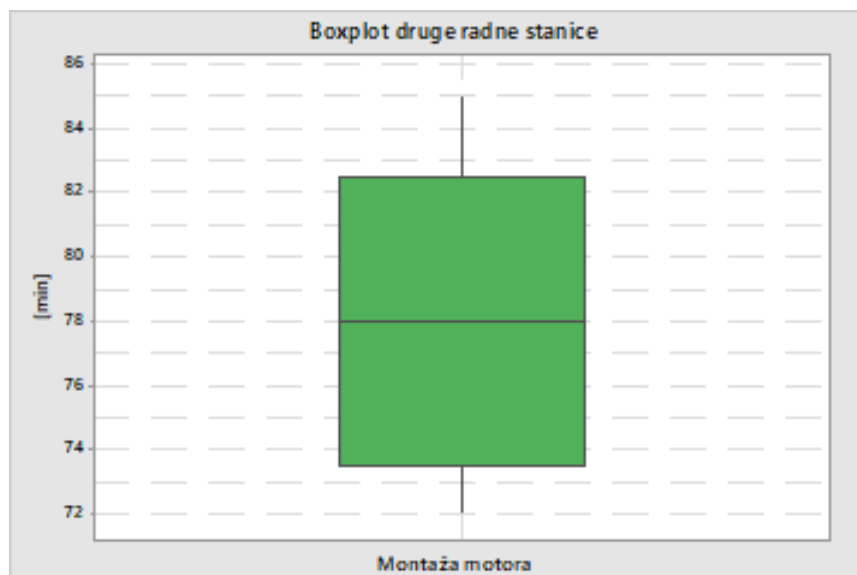
Prvi alat koji će se koristiti u fazi analize je Boxplot dijagram koji omogućuje dobar uvid u vrijeme trajanja aktivnosti na radnim stanicama te se iz njega može naslutiti odstupanje pojedinih numeričkih podataka. Boxplot dijagram ili kutijasti dijagram tako prikazuje odnos minimuma, maksimuma, donjega i gornjega kvartila te medijana podataka a za njegovu izradu korišten je programski paket „Minitab 18“.

Prvi takav Boxplot dijagram izrađen je na temelju sedam mjerenja montaže priključka i pričvršćivanja označne pločice na prvoj radnoj stanici. Iz njega se može iščitati vrijednost medijana koja iznosi 110 minuta što znači da je polovica podataka dobivena mjerenjima veća odnosno manja od 110 minuta. Isto tako iz dijagrama se mogu vidjeti kvartali podataka kojima se rezultati mjerenja dijele na četiri jednaka dijela te jedna stršeća vrijednost u iznosu od 125 minuta. Ova vrijednost odstupa od ostalih rezultata mjerenja zbog toga što su prilikom montaže radnici imali problema s pričvršćivanjem označne pločice zbog neusklađenosti promjera rupa na pločici i motoru.



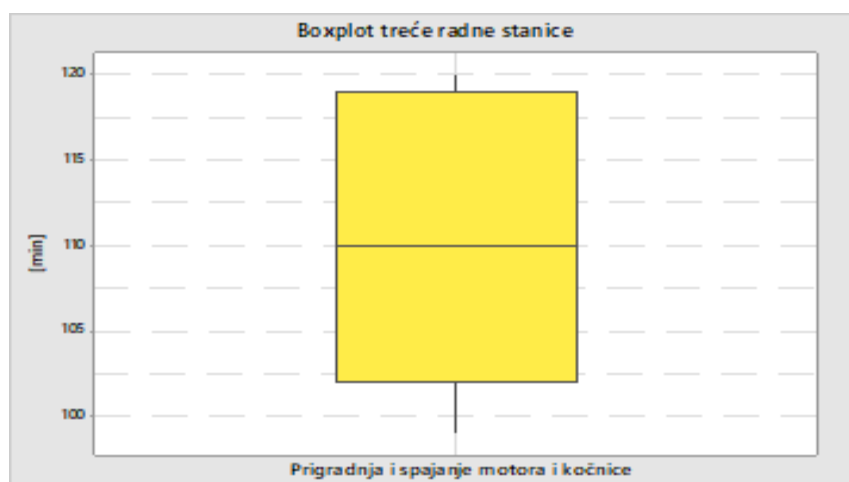
Slika 5.12 Boxplot dijagram prve radne stanice

Drugi boxplot dijagram izrađen je temelju pet mjerenja montaže motora na drugoj radnoj stanici. Vrijednost medijana ovog boxplot dijagrama iznosi 78 minuta, a kvartili dijagrama su podijeljeni između vremena montaže od 72 i 75, 78 i 78, 78 i 82,5 te 82,5 i 85 minuta.



Slika 5.13 Boxplot dijagram druge radne stanice

Treći kutijasti dijagram također je izrađen na temelju pet mjerenja prigradnje i spajanja motora i kočnice na trećoj radnoj stanici. Vrijednost medijana ovog dijagrama iznosi 110 minuta a kvartili dijagrama su podijeljeni između vremena montaže od 99 i 102, 102 i 110, 110 i 118 te 118 i 120 minuta.



Slika 5.14 Boxplot dijagram treće radne stanice

### 5.3.3.2. Yamazumi dijagram

Tijekom mjerenja vremena koja su poslužila kao osnova za izradu boxplot dijagrama, posebna pozornost bila je posvećena detektiranju aktivnosti koje donose ili ne donose vrijednost proizvodu, a za njihovo karakteriziranje koristit će se drugi alat u fazi analiziranja tj. Yamazumi dijagram. Yamazumi dijagrami su alati koji služe za prikazivanje strukture vremena proizvodnog ciklusa koji je u ovom slučaju ciklus montaže elektromotora tipa AZK. Ovaj dijagram korišten je u svrhu lakšeg prikaza procesa montaže odnosno karakterizaciju gubitaka. Proces montaže podijeljen je u pojedinačne i najproblematičnije radne stanice koje zatim karakteriziraju tri komponente. Zelenom bojom označene su aktivnosti koje donose vrijednost proizvodu, narančastom aktivnosti koje je potrebno optimirati te su crvenom bojom prikazani dijelovi procesa koji ne donose nikakvu vrijednost proizvodu i potrebno ih je eliminirati. Također je prije same analize Yamazumi dijagrama potrebno i definirati X i Y osi dijagrama a one predstavljaju:

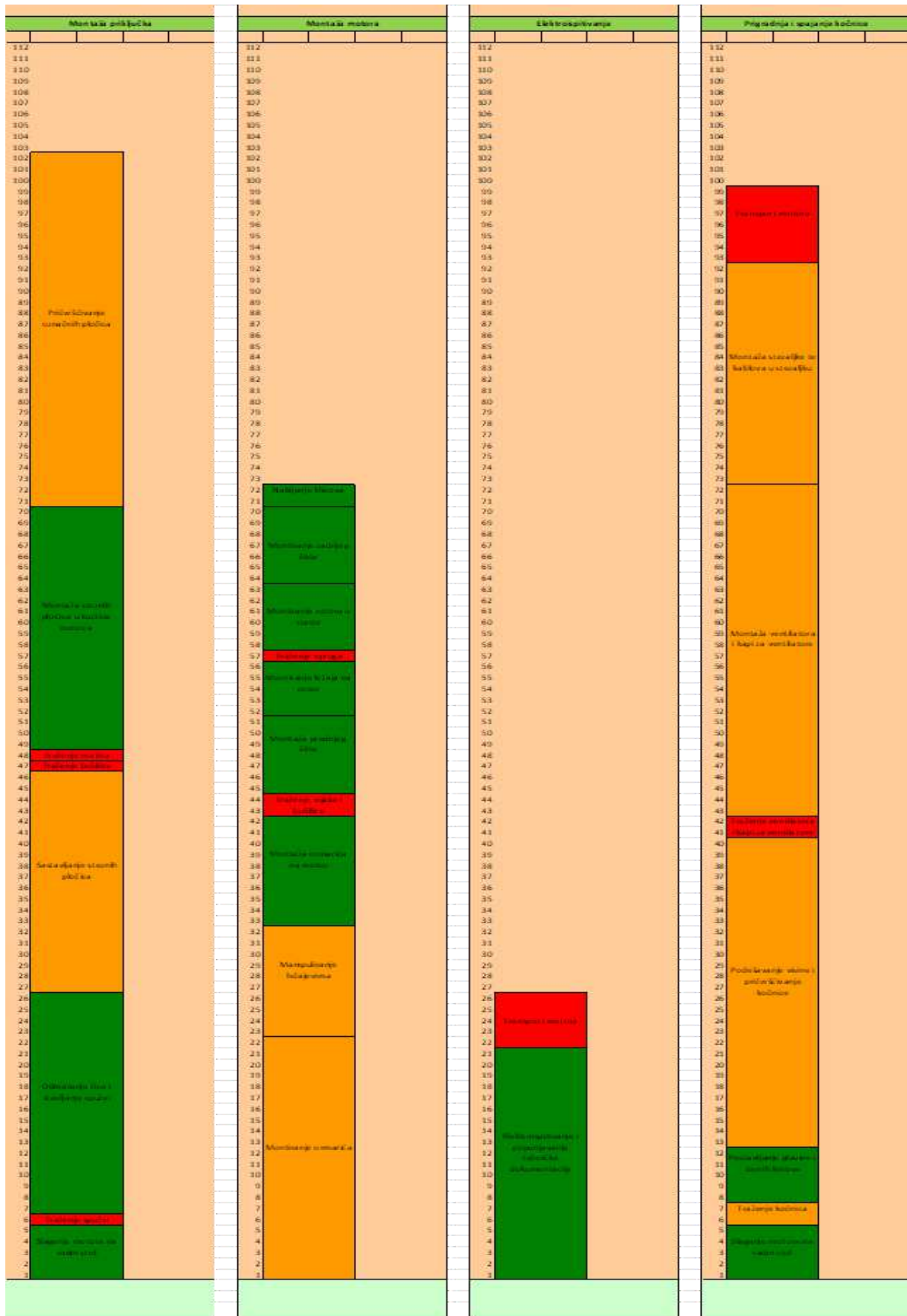
- Os X – predstavlja svaku radnu stanicu u procesu montaže
- OS Y – predstavlja vrijeme izraženo u minutama za obavljanje aktivnosti.

Kako bi se dobio bolji uvid u efikasnost izvršavanja aktivnosti, na radnim stanicama u nastavku će biti pobliže opisane same aktivnosti te problemi koji se javljaju prilikom njihova izvođenja:

1. Montaža priključka – radnici na ovoj radnoj jedinici posao montaže započinju slaganjem motora na radnu jedinicu sa pokretnih kolica. Drugi korak prilikom montaže priključka jest stavljanje spužvi unutar motora korištenjem tankog drvenog komada radi lakše manipulacije spužvom te ručno odmatanje prethodno namotanih bakrenih žica. Tijekom ove aktivnosti, prilikom mjerenja vremena uočeno je kako na radnoj jedinici nedostaju spužve što rezultira gubitkom vremena radi njihovog donošenja na radno mjesto. Nadalje, slijedi aktivnost montaže steznih pločica i podložaka koji će se kasnije koristiti za fiksiranje žica. Za vrijeme ove aktivnosti radnici ostavljaju motore po strani radne jedinice te su im se prilikom donošenja stezne pločice ponekad raspale te su im za njihovo pričvršćivanje nedostajale matice bušilica koje uz to povremeno nisu dobro radile. Zadnja dva koraka u izvršavanju montaže priključka su pričvršćivanje označne pločice te zagrijavanje ležajeva (na peći) koji ponekad dolaze u nepraktičnom pakiranju.

2. Montaža motora – prilikom prvog koraka na ovoj radnoj stanici radnici ostavljaju motor postrani te započinju s montažom ormarića. Zbog toga dolazi do nagomilavanja motora na montažnoj liniji te se rad na samim motorima nastavlja nakon što su ormarići montirani. Nakon montiranja ormarića na motor, slijedi montaža prednjeg štita motora te montaža rotora u stator. U ovom koraku ponekad je potrebno prije montaže rotora u stator pričvrstiti specifične opruge koje se ne nalaze na radnoj jedinici što rezultira gubitkom vremena prilikom traženja i donošenja opruga. Nadalje se javlja sličan problem pri montaži ležajnog štita koji također nije u blizini radne jedinice. Nakon montaže zadnjeg ili ležajnog štita vrši se nabijanje klinova te zadnja aktivnost pričvršćivanja označne pločice. U izvođenju zadnje aktivnosti rupe na označnim pločicama su ponekad premalog promjera pa ih radnici moraju ručno proširiti kako bi ih uspjeli pričvrstiti za elektromotor.
3. Ispitivanje i popunjavanje tehničke dokumentacije – kao što je navedeno ranije, aktivnosti na ovoj radnoj stanici su veoma dobro uhodane te nema poteškoća prilikom njihova izvođenja. Glavna problematika vezana s ovom radnom stanicom dolazi nakon što su svi motori ispitani, naime nakon što je elektroispitivanje motora obavljeno, potrebno je motore premjestiti na kolica te ih odvesti na sljedeću radnu stanicu čime se gubi i do pet minuta vremena.
4. Prigradnja i spajanje motora i kočnice – prva aktivnost na ovoj radnoj jedinici jest slaganje i fiksiranje motora na radni stol te donošenje prethodno naručenih kočnica pri čemu se gubi na vremenu. Nakon toga slijede aktivnosti kojima se donosi vrijednost proizvodu a to su postavljanje tarnih limova te nabijanje glavine i klinova. Sljedeća aktivnost je montaža kočnica na motor te se prilikom izvođenja ove aktivnosti javlja problem podešavanja visina prethodno namontiranih kočnica. Ovo iziskuje mnogo vremena i truda radnika te se prilikom podešavanja kočnica na seriji od 10 elektromotora izgubilo 25 minuta. Nakon što je kočnica montirana na motor, slijede dvije aktivnosti koje donose vrijednost proizvodu a to su montaža zaštitne gume i provlačenje kablova. Nakon toga se montiraju ventilatori i kape za ventilatore koji nisu u blizini radne jedinice pa se troši vrijeme na njihovo donošenje iz skladišta. Također je prije same montaže kape za ventilatore potrebno obaviti čišćenje srha kako bi se spriječila oštećenja pri radu elektromotora. Na završni transport do drugog kata se gubi u prosjeku 7 minuta.





Slika 5.15 Yamazumi dijagram za promatrani proces

### 5.3.4. Faza poboljšanja

Na početku ovog podpoglavlja potrebno je napomenuti kako Lean Six Sigma Green Belt projekt ne obuhvaća provođenje predloženih poboljšanja, no unatoč tome u suradnji sa mentorom i direktorom proizvodnje poduzeća Končar – MES neka od navedenih poboljšanja su implementirana u proces montaže elektromotora tipa AZK.

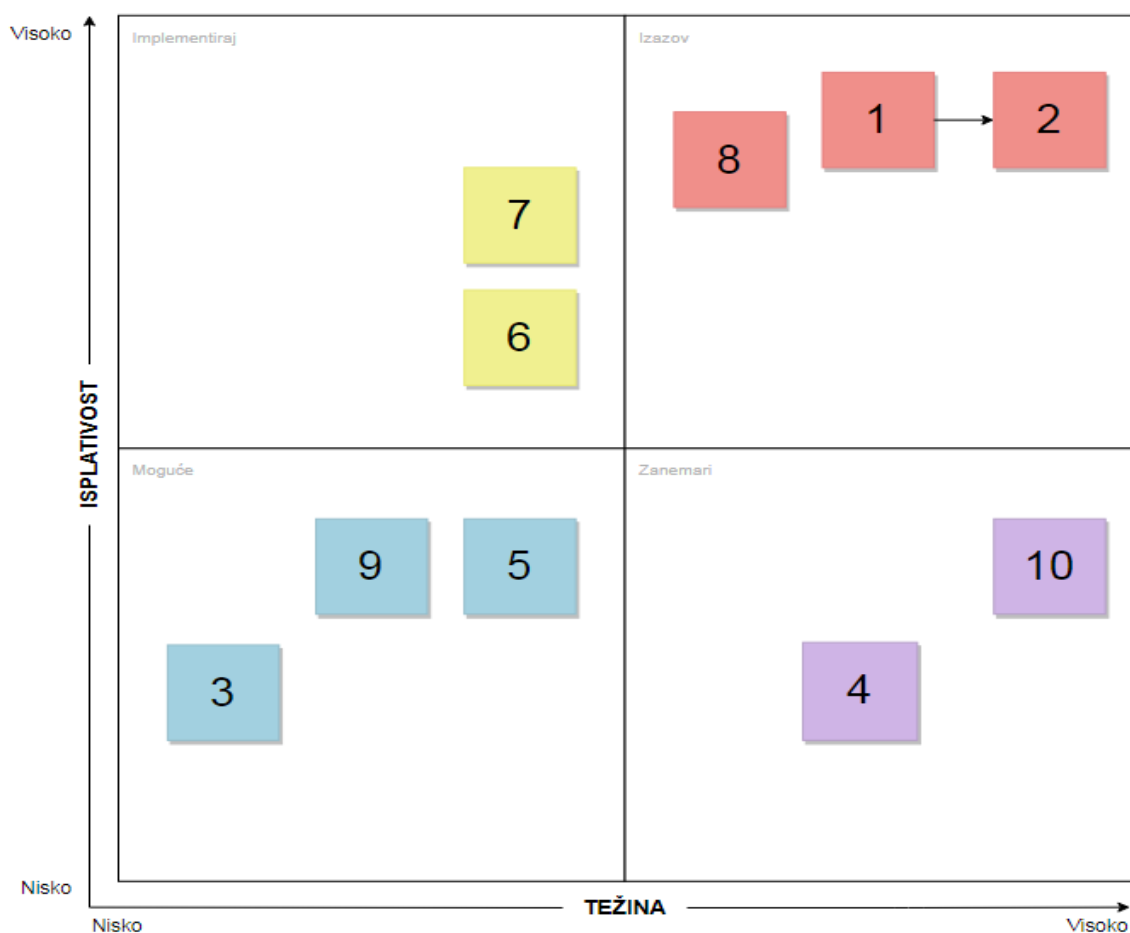
Prvi korak u fazi poboljšanja jest napraviti „*brainstorming*“ ideja potencijalnih poboljšanja na osnovi zaključaka donesenih provođenjem prethodnih triju faza DMAIC ciklusa. U procesu brainstorminga potrebno je navesti što je više moguće ideja za poboljšanje procesa montaže a te ideje su prikazane slikom 5.16.

1. Implementiranje nove montažne linije kako bi se osigurala bolja povezanost radnih stanica.
  - predstavljeno je tri različita 3D modela montažnih linija sa različitim rasporedom radnih stanica
2. Implementiranje novih radnih stanica dizajniranih po načelima vitke proizvodnje.
  - izrađena je vizualizacija tri različita modela radnih stanica u programskom paketu MTpro64
3. U radnom nalogu ispod aktivnosti navesti potrebne materijale za provođenje iste.
4. Provoditi učestalije sastanke između odjela unutar poduzeća radi bolje organizacije proizvodnje.
5. Uvesti praćenje procesa pomoću kontrolnih karata radi lakšeg prepoznavanja stanja procesa.
6. Uvođenje nove radne stanice dorade kako bi se izbjeglo nagomilavanje elektromotora na liniji.
7. Izbjeći podešavanje visine kočnica provođenjem ispitivanja na kočnicama prije njihove montaže.
8. Implementirati okretni stol na radne jedinice radi lakše manipulacije elektromotrima.
9. Napraviti zapisnik u koji će radnici iznositi vlastite prijedloge poboljšanja procesa montaže.
10. Osvijestiti zaposlenike o benefitima timskog rada kako bi se postigla veća produktivnost poduzeća.

**Slika 5.16 Poboljšanja koja je moguće preporučiti nakon prva tri koraka DMAIC ciklusa**

#### 5.3.4.1. Matrica isplativosti

Nakon iznošenja ideja za moguća poboljšanja, potrebno ih je analizirati i odrediti prioriteta poboljšanja kako bi se na kraju odredila najisplativija poboljšanja, a alat kojim se to postiže jest matrica isplativosti. Drugim riječima, matricom isplativosti određuju se rješenja koja je najlakše implementirati a njihovom implementacijom postižu se najveći benefiti. Matrica isplativosti podijeljena je u četiri dijela te ima dvije osi pri čemu os x predstavlja stupanj težine implementacije poboljšanja dok os y predstavlja stupanj isplativosti implementacije poboljšanja. Jedna takva matrica isplativosti za promatrani projekt prikazana je slikom 5.17.

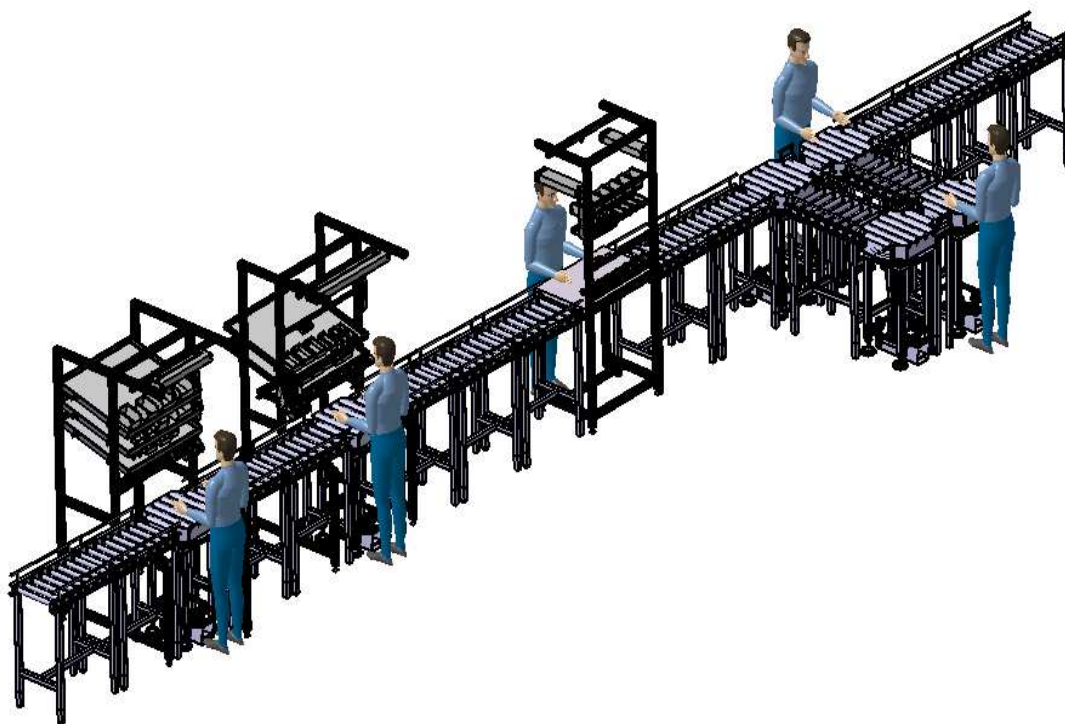


Slika 5.17 Matrica isplativosti za predložena poboljšanja procesa

Sa slike 5.17 može se vidjeti kako se na matrici isplativosti nalaze naljepnice različitih boja te sadrže broj koji označuje prijedloge poboljšanja opisane slikom 5.16. Plave naljepnice predstavljaju prijedloge koji su nižeg ranga isplativosti te ih je lakše implementirati u sam proces te s toga treba dalje razmotriti mogućnost implementiranja ovih poboljšanja. Ljubičaste naljepnice predstavljaju prijedloge koje je teže implementirati u poslovanje poduzeća te su nižeg ranga isplativosti pa se stoga zanemaruju. Žute naljepnice predstavljaju prijedloge poboljšanja koji donose veće benefite procesu montaže te ih je lakše realizirati i zbog toga su najprioritetniji za implementaciju. Crvene naljepnice predstavljaju prijedloge poboljšanja koji za konkretan slučaj donose najveće benefite ali ih je isto tako i najteže implementirati. Naljepnice 1 i 2 spaja strelica, što znači kako su stupanj isplativosti te težina implementiranja ovih prijedloga u procesu montaže jednaki. U ovom koraku bitno je za napomenuti kako se u suradnji s timom unutar poduzeća odlučilo kako će se u proces montaže implementirati sva poboljšanja koja donose najveće benefite neovisno o težini njihove implementacije.

#### 5.3.4.2. Poboljšanje 1

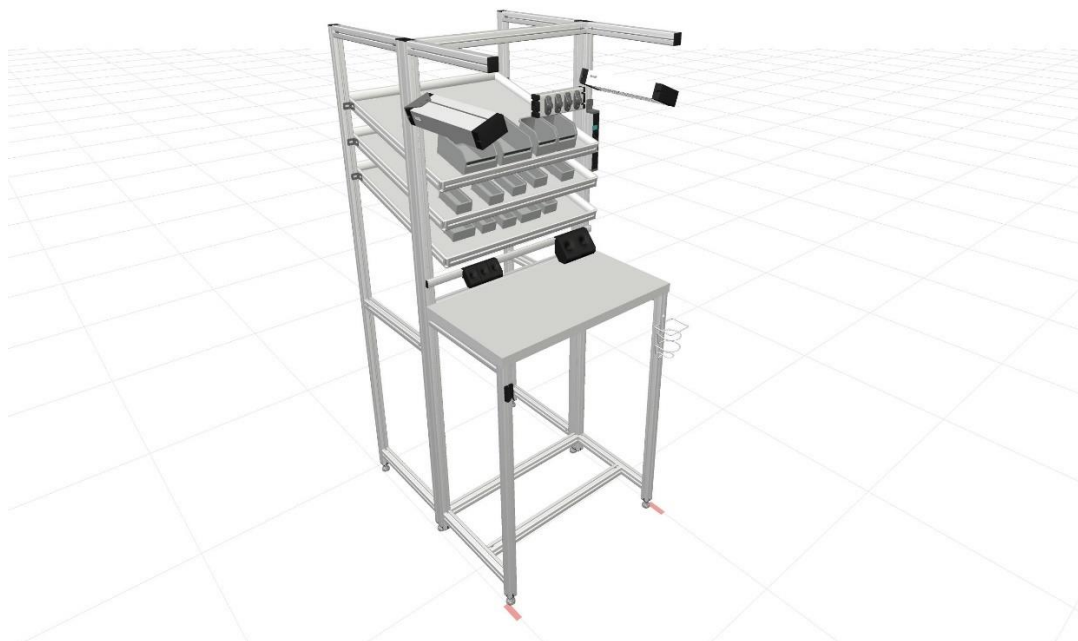
Poboljšanje jedan, kako je navedeno slikom 5.16, predstavlja uvođenje nove montažne linije u proces montaže kako bi se eliminirali česti gubici vremena uzrokovani transportom elektromotora. Prijedlog izgleda linije za montažu prikazan je slikom 5.18. te je iz slike vidljivo kako liniju čine gravitacijski konvejeri s transportnim valjcima bez pogona, okretni radni stolovi i radne stanice opisane u prethodnim poglavljima. Montažna linija ima pet radnih stanica sa pet operatera od kojih tri rade na poslovima montaže dok dva rade na poslovima elektroispitivanja i završnog ispitivanja elektromotora. Vizualizacija montažne linije izrađena je u programskom paketu „CATIA V5“.



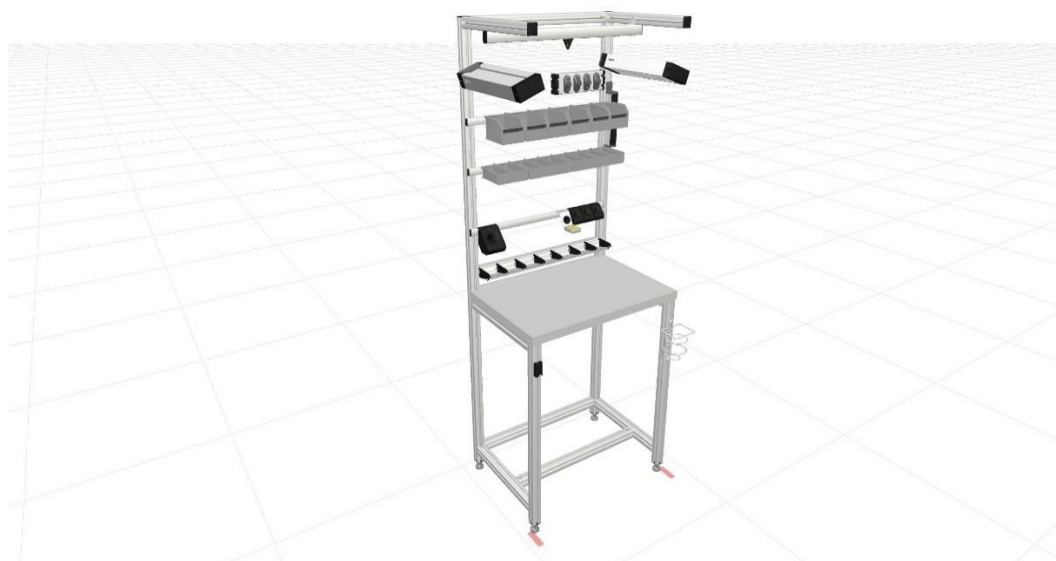
Slika 5.18 Linija za montažu elektromotora [izrada autora]

### 5.3.4.3. Poboljšanje 2

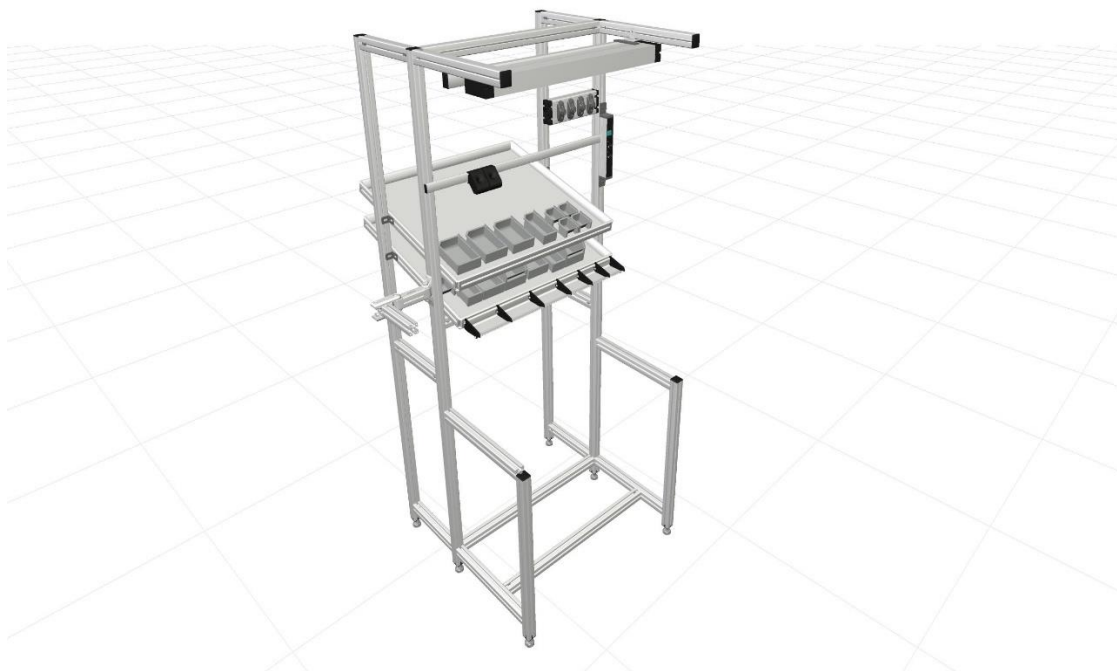
Poboljšanje dva spada u skupinu najisplativijih i najteže izvodivih poboljšanja, a odnosi se na implementaciju novih montažnih radnih stanica. U programskom paketu „MTpro64“ napravljena je vizualizacija triju varijanti radnih stanica te su idejna rješenja radnih stanica potom prezentirana direktoru proizvodnje.



**Slika 5.19 Radna stanica 1 [izrada autora]**



**Slika 5.20 Radna stanica 2 [izrada autora]**



**Slika 5.21 Radna stanica 3 [izrada autora]**

Radne stanice konstruirane su prema načelima vitke proizvodnje. Svaka stanica mora biti ergonomična te sadržavati sve potrebne alate i materijale za provođenje aktivnosti montaže te može poslužiti za poslove montaže priključka, motora i kočnice. Isto tako svaka radna stanica sadrži svjetla, utičnicu, mjesto za odložiti bocu vode te mjesto za smještaj pištolja za ispuh zraka. Prva varijanta radne stanice prikazana je slikom 5.19. Ona sadrži tri police s materijalima na kojima se nalaze plastične kutije u kojima je predviđeno da budu svi materijali za montažu priključka (vijci, matice, podloške, spužve, itd.). Smještaj alata na radnoj stanici predložen je konstrukcijskim rješenjem držača alata koji su pričvršćeni na gredu koja se nalazi odmah iznad radnog stola. Druga radna stanica prikazana je slikom 5.20 te su razlike između ove i prethodne stanice u tome što su kutije materijala pričvršćene na grede te u dodanoj polici za smještaj sitnijih materijala poput vijaka, matica i podložaka. Radna stanica tri prikazana je slikom 5.21 te je glavna razlika od prethodnih dviju stanica u pomičnom zglobu u koji je moguće smjestiti držače alata.

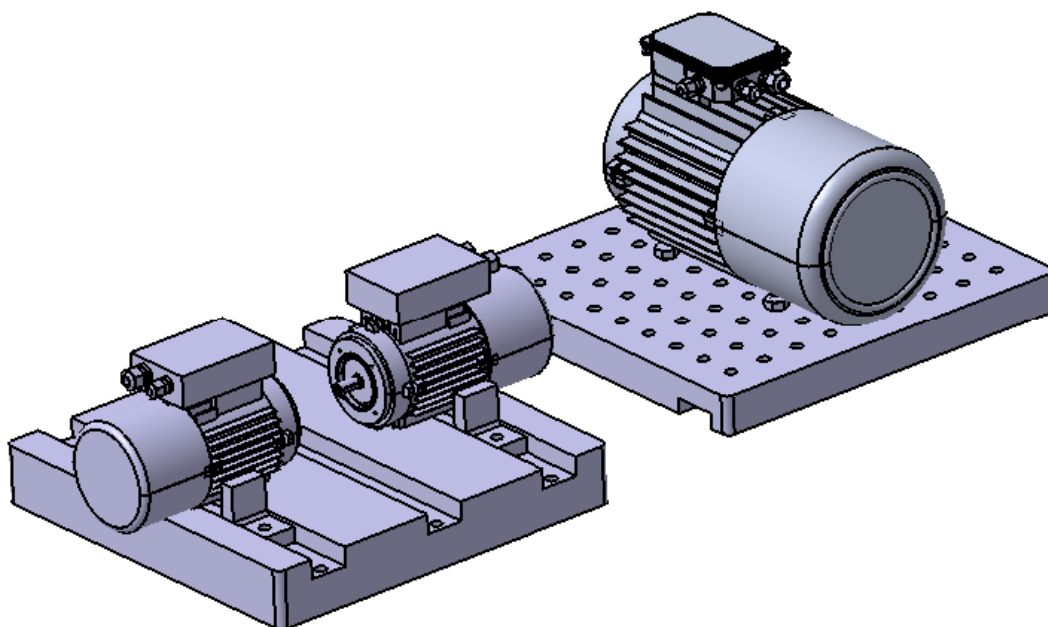
#### 5.3.4.4. Poboljšanje 7

Poboljšanje 7 odnosi se na eliminaciju aktivnosti podešavanja visine zračnog raspora kočnice kako je objašnjeno slikom 5.16. Na poslovnom sastanku sponzorima je predloženo ispitivanje osam elektromotora na kojima su montirane kočnice s nepodešenom visinom raspora zraka na kojima se gotovo nije čula buka struganja pakne. Budući da je buka bila veoma niskog intenziteta, sponzori elektromotore s montiranim kočnicama ne podešene visine nisu karakterizirali kao reklamaciju zbog čega su u procesu montaže donesene slijedeće odluke:

- Nije više potrebno podešavati visinu kočnice prije montaže.
- Nakon montaže kočnice potrebno je i dalje provoditi završnu kontrolu.
- Ukoliko se na radnoj stanici završne kontrole ustanovi da motori buče potrebno ih je izdvojiti te poslati na doradu.
- Nakon dorade potrebno je napraviti izvještaj.
- Nakon zaprimanja kočnica od dobavljača potrebno je prekontrolirati zračni raspor 10 % dopremljene serije.
- Ukoliko zračni raspor kontroliranih kočnica odstupa u više od 20 % slučajeva, potrebno je provesti ispitivanje cijele serije.
- Kočnice s neadekvatnom visinom zračnog raspora reklamirati dobavljaču.

#### 5.3.4.5. Poboljšanje 8

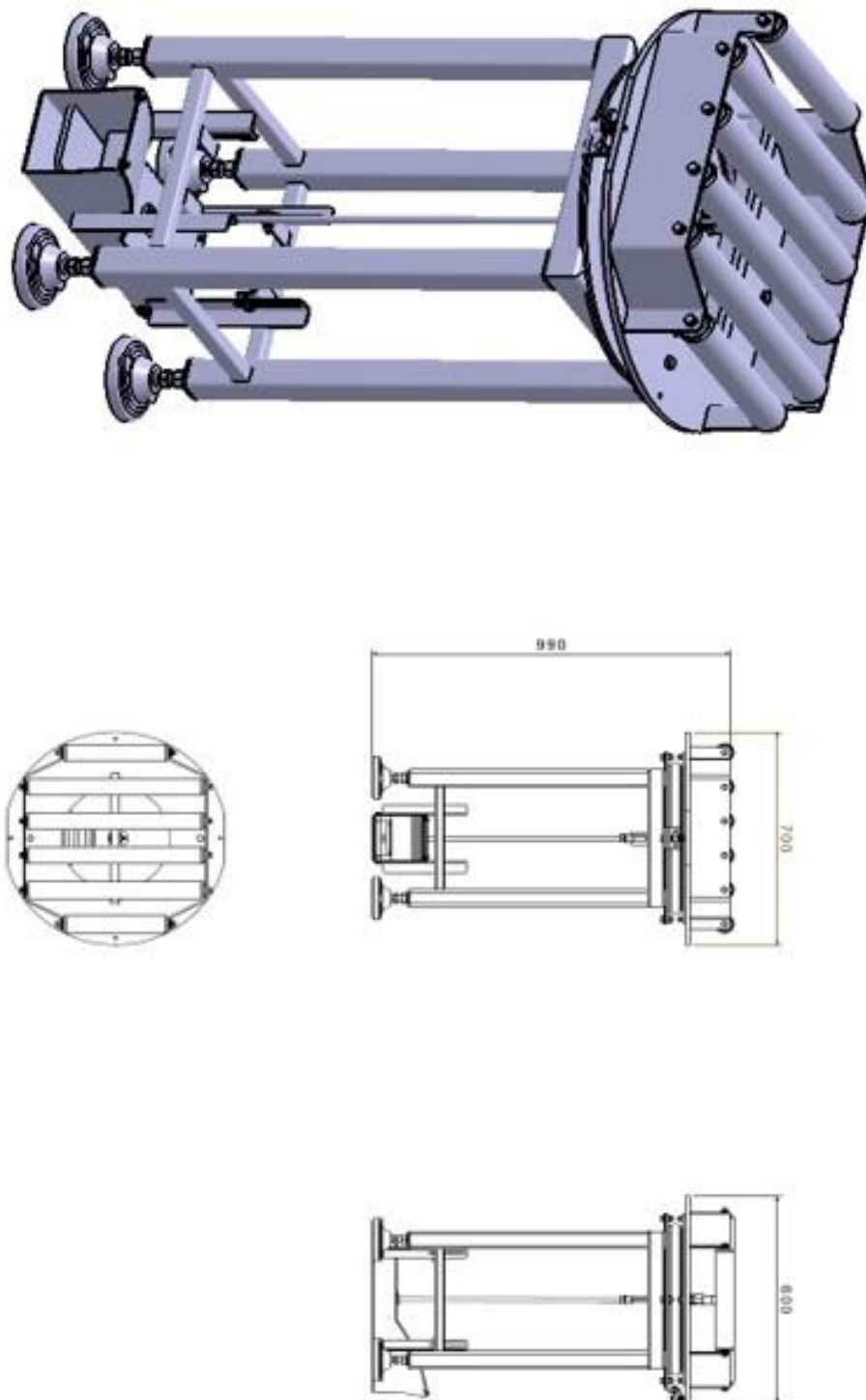
Poboljšanje broj 8 označava implementaciju okretnog radnog stola koji će radnicima omogućiti lakšu manipulaciju elektromotorima tako što ih više neće morati okretati ručno nego pritiskom stopala na papučicu okretnog stola. Radni stol mora sadržavati valjke radi lakšeg transporta elektromotora na liniji za montažu. Jednom kada su sve aktivnosti na trenutačnoj radnoj stanici izvršene, elektromotori će na montažnoj liniji biti transportirani na paletama koje će se ručno gurati prema sljedećoj radnoj stanici. 3D modeli paleta i okretnog izrađeni su u programskom paketu „CATIAV5“ te su prikazani slikama 5.22 i 5.23.



**Slika 5.22 3D modeli paleta [izrada autora]**

Predložene su dvije verzije paleta koje se razlikuju po načinu fiksiranja elektromotora. Na prvoj verziji paleta motori se fiksiraju pomoću vijaka većeg promjera glave vijka. Budući da se serije motora AZK razlikuju svojom veličinom ovisno o seriji, način fiksiranja motora mora biti fleksibilan te stoga paleta sadrži veći broj rupa kako bi se motori mogli fiksirati na prikladan način. Za drugu verziju paleta predložene su palete sa žljebovima. Unutar žljebova nalaze se rupe te se elektromotori fiksiraju pomoću graničnika ovisno o izvedbi elektromotora.

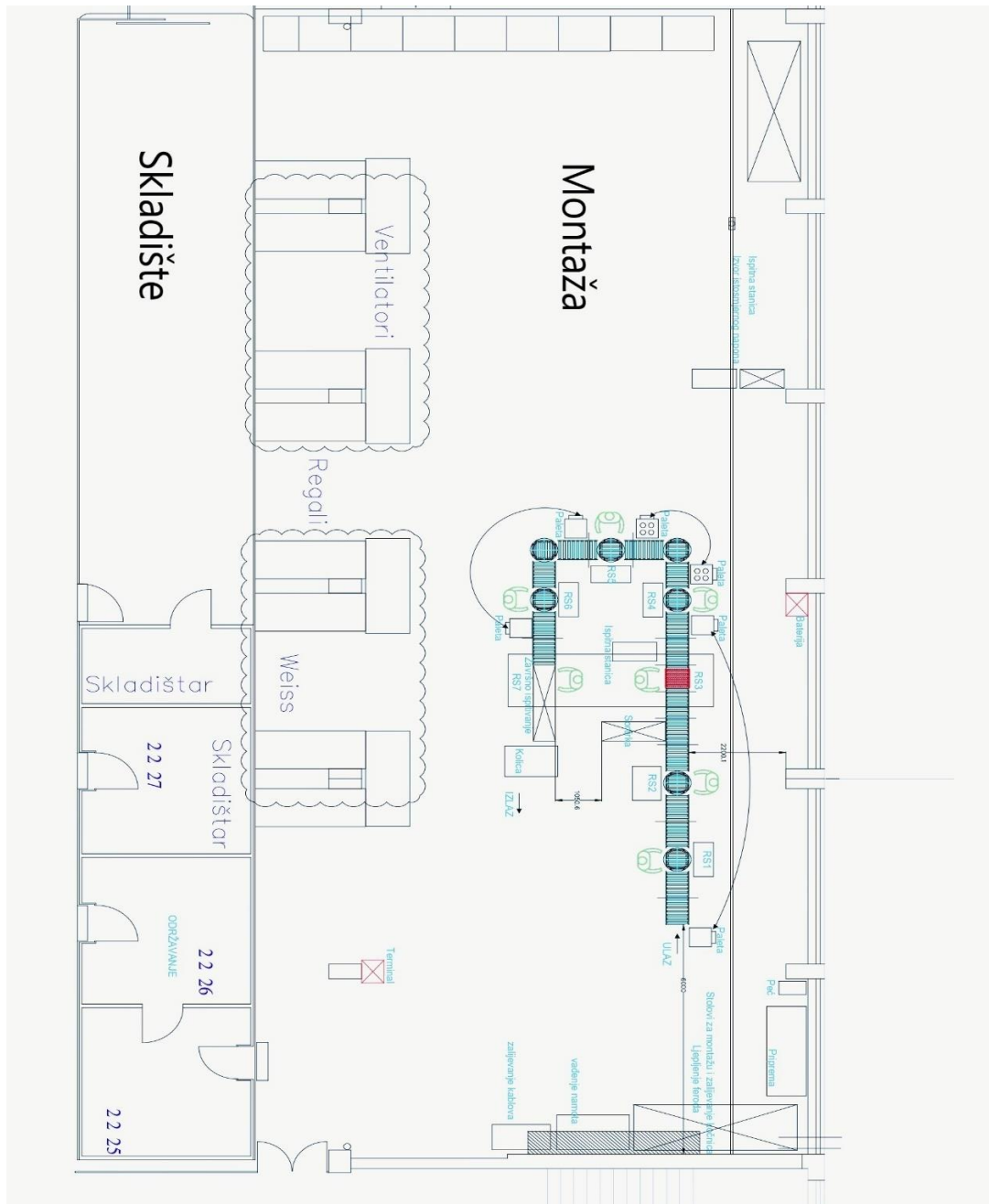




Slika 5.23 3D i 2D model okretnog radnog stola [izrada autora]

### 5.3.5. Faza kontrole

U finalnoj fazi DMAIC ciklusa bit će objašnjeni novi poboljšani procesi montaže elektromotora te izmjerena vremena trajanja aktivnosti montaže nakon implementacije poboljšanja. Uvid u novi proces montaže, liniju za montažu te u raspodjelu radnih stanica na liniji dan je slikom 5.24.



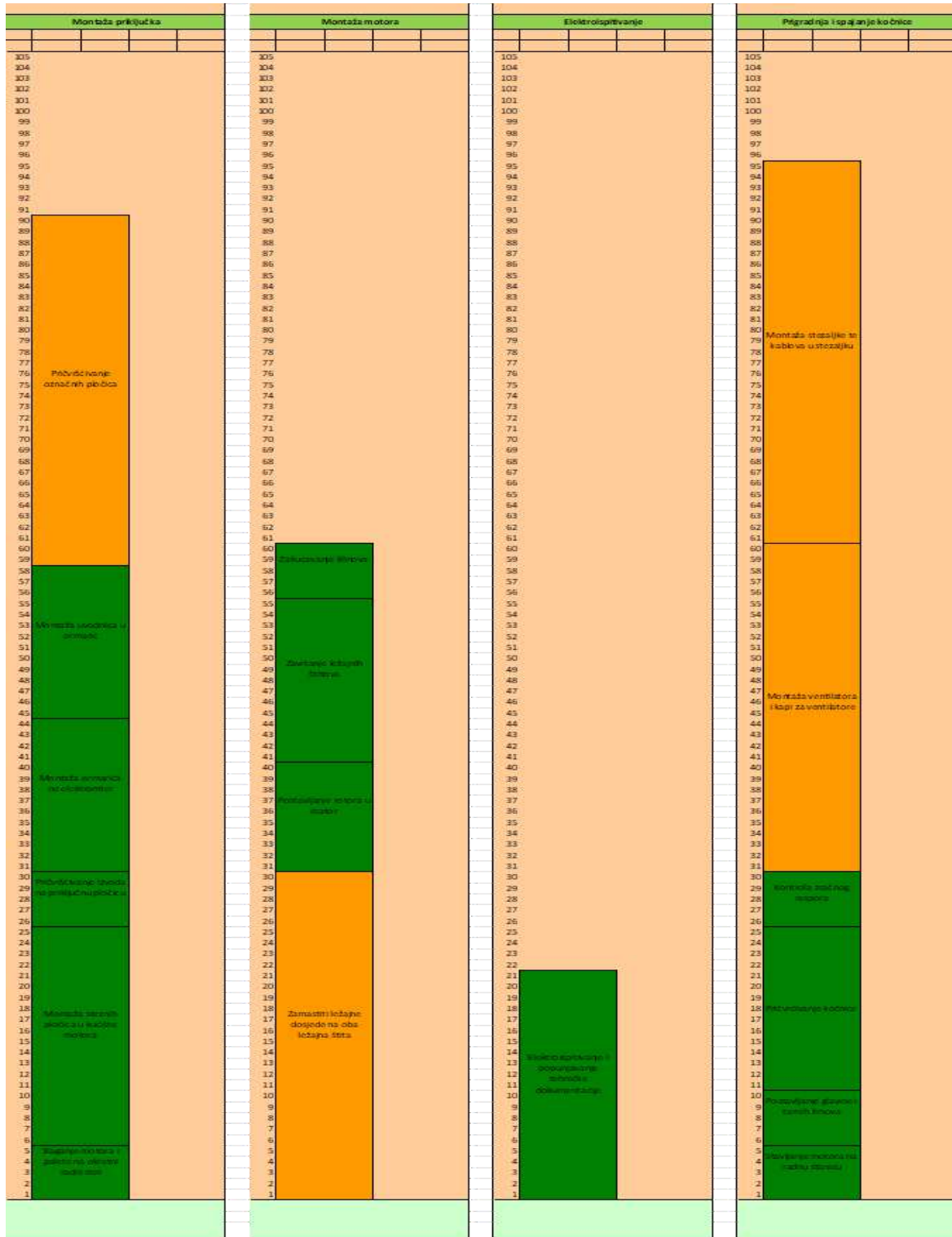
Slika 5.24 2D prikaz procesa montaže nakon implementacije poboljšanja

U poduzeću je donesena odluka kako će se proces montaže AZK tipa motora preseliti u prostoriju na drugom katu zgrade poduzeća. Iz slike 5.24 vidljiva je 2D shema montažne linije s raspodjelom radnih stanica i principom uzimanja/odlaganja paleta, dodatna radna stanica za pripremu poluproizvoda (rotora, ormarića i pločica), skladište, te regali s ventilatorima i elektromotorima. Zbog implementacije nove radne stanice došlo je do izmjene vremena i aktivnosti na radnim stanicama montaže. Redoslijed aktivnosti na radnim stanicama te njihova vremena dobivena jednim mjerenjem ciklusa montaže prikazana su novim Yamazumi dijagramom na slici 5.26.

Implementacijom prijedloga poboljšanja:1,2,6,7 i 8 iz procesa montaže eliminirane su sve aktivnosti koje ne donose vrijednost proizvodu, od kojih je najznačajnija ona transporta elektromotora kolicima te su optimirane aktivnosti montaže na radnim jedinicama.

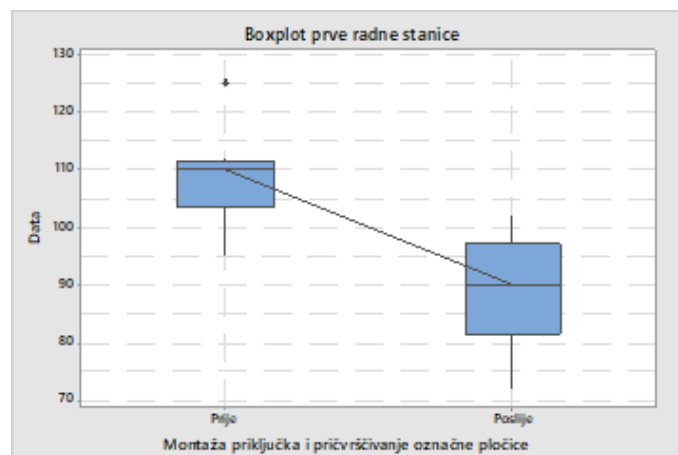


**Slika 5.25 Nova linija za montažu motora tipa AZK**

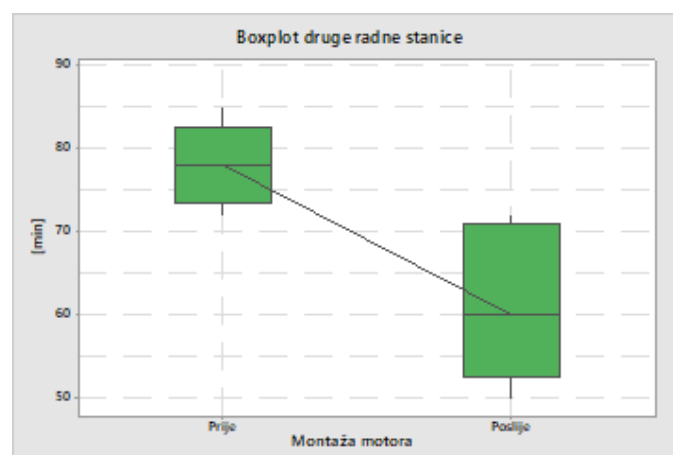


Slika 5.26 Yamazumi dijagram nakon implementacije poboljšanja

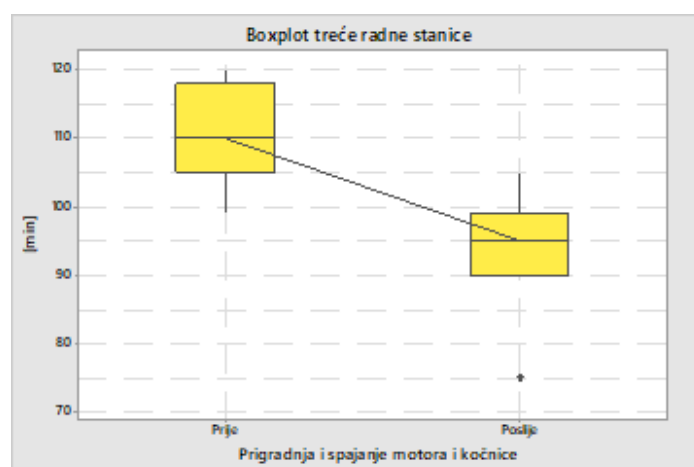
Iz podataka dobivenih provođenjem pet mjerenja na pojedinačnim radnim jedinicama montaže, kreirani su novi boxplot dijagrami te su njihovi medijani uspoređeni s boxplot dijagramima kreiranim prije implementacije poboljšanja.



Slika 5.27 Boxplot dijagram prve radne stanice prije i poslije implementacije poboljšanja



Slika 5.28 Boxplot dijagram druge radne stanice prije i poslije implementacije poboljšanja

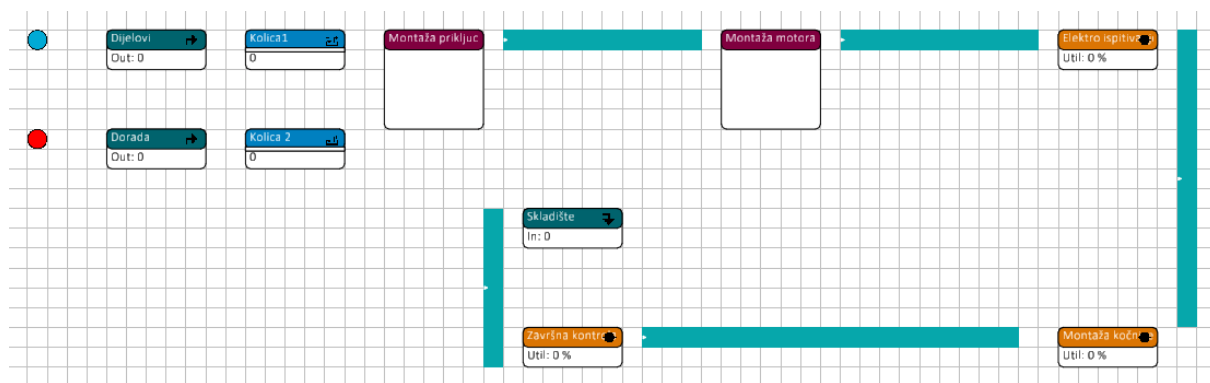


Slika 5.22 Boxplot dijagram treće radne stanice prije i poslije implementacije poboljšanja

## 6. SIMULACIJSKI MODEL

Zadatak izrade praktičnog dijela simulacijskog modela sastoji se od određivanja broja završenih elektromotora na montažnoj liniji te određivanja iskoristivosti kapaciteta na liniji. Ulazni parametri radnih stanica na montažnoj liniji dobiveni su mjerenjima vremena na svakoj pojedinoj radnoj stanici dok su vremena opskrbljivanja proizvodnih kapaciteta uzeta proizvoljno.

Kao dio izrade koncepta definiran je model, prema problemu definiranim zadatkom, pomoću software-a „Enterprise Dynamics“. Na slici 6.1 prikazan je računalni model zadan ovim zadatkom.

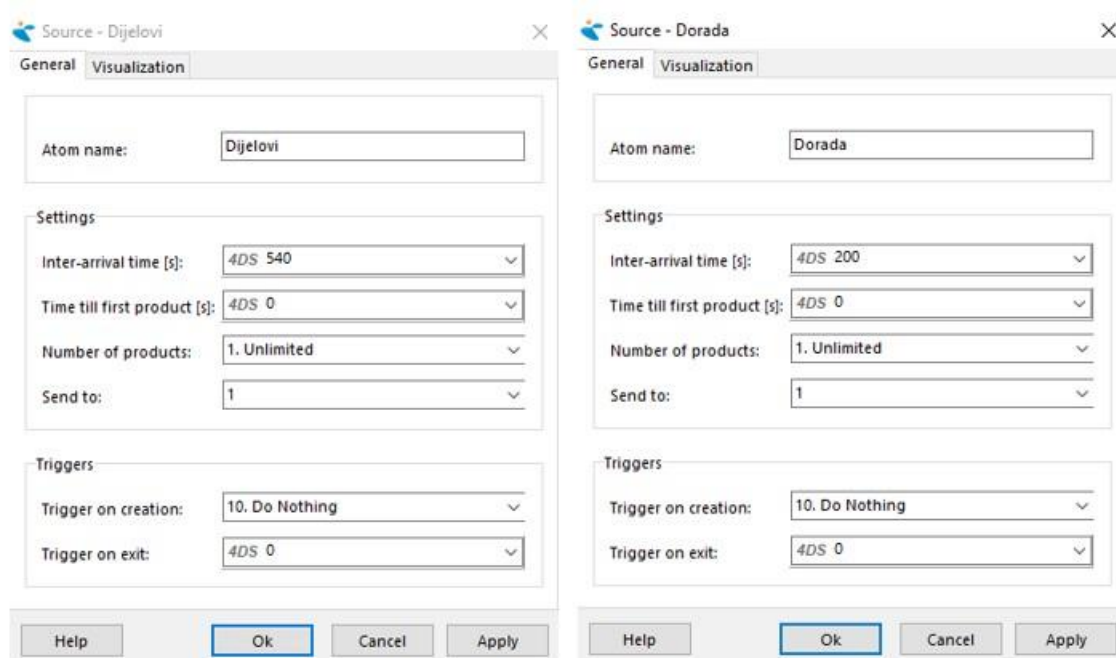


Slika 6.1 Računalni model

Na slici 6.1 se vidi kako se ovaj model sastoji od dva atoma *Source*, dva atoma *Queue*, dva atoma *Assembler*, tri atoma *Server* te pet atoma koji predstavljaju gravitacijske konvejure. Ideja ovog modela je da svaki od atoma *Source* generira poluproizvode koji se šalju na dvojica transportna kolica predstavljena atomima *Queue* nakon čeka ovi poluproizvodi ulaze u sam proces montaže. Atomi *Assembler* označavaju radne stanice montaže priključka i radne stanice montaže motora te kako bi izvršili potrebne aktivnosti moraju imati dva ulaza. Tako u prvi atom *Assembler* ulaze glavni dijelovi s kolica 1 i kolica 2 dok u drugi atom *Assembler* ulaze dijelovi obrađeni na radnoj stanici montaže priključka i dijelovi s kolica 2. Jednom obrađeni poluproizvodi na atomu *Assembler 2* šalju se gravitacijskim konvejerima na preostale tri radne stanice predstavljene atomima *Server* te se nakon završne kontrole elektromotori transportiraju u skladište predstavljeno atomom *Sink*.

U nastavku će biti objašnjeni parametri svakog od atoma uključen u ovaj simulacijski model.

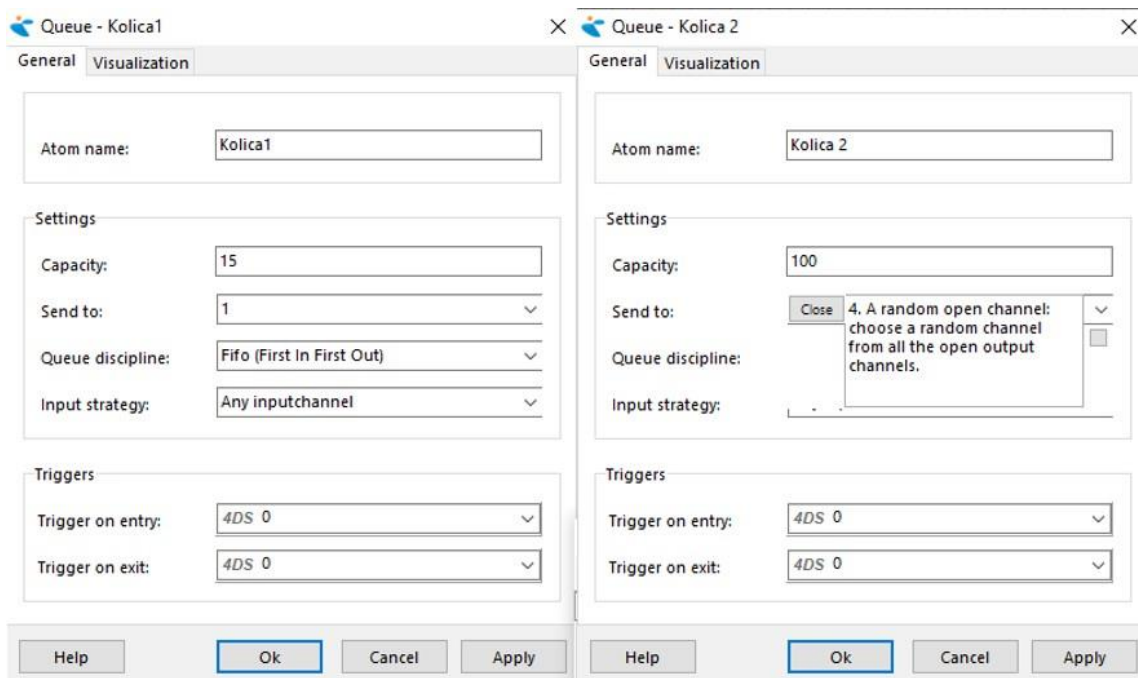
Slikom 6.2 prikazani su atomi *Source* koji predstavljaju ulazne dijelove u proces montaže. Prvi atom nazvan je „*Dijelovi*“ i odnosi se na gotove poluproizvode koji se dovoze iz proizvodnog pogona poduzeća dok se drugi atom naziva „*Dorada*“ te se odnosi na poluproizvode s radne stanice dorade. Tijekom promatranja procesa ustanovljeno je da operater na prvoj radnoj stanici odnosno radnoj stanici montaže priključka nije niti na jednom mjerenju morao čekati na transport gotovih proizvoda isto kao i na dijelove s dorade te su zbog toga neki od parametara ovih radnih stanica postavljeni proizvodno. Točnije, parametar vrijeme čekanja do prvog proizvoda iznosi nula dok su parametri međuvremena dolaznih vremena postavljeni na *Sourceu* „*Dijelovi*“ na 540 sekundi te na *Sourceu* „*Dorada*“ na 200 sekundi.



Slika 6.2 Podešavanje parametara atoma *Source*

Nakon atoma *Source*, potrebno je definirati parametre na atomima *Queue* a prikazani su slikom 6.3. Kao što je navedeno, atomi *Queue* nazvani su „*Kolica1*“ i „*Kolica2*“ te su na njima podešavani parametri kapaciteta, slanja proizvoda na sljedeći atom i reda čekanja. Parametri kapaciteta proizvodno su definirani iz istog razloga dobre opskrbljenosti radnih stanica dijelovima i poluproizvodima. Parametar slanja proizvoda na sljedeći atom u prvom slučaju je postavljen na 1 što znači da se šalje na jedini izlaz što je u ovom slučaju atom *Assembler* prve radne stanice dok je u drugom slučaju ovaj parametar podešen tako da se poluproizvodi koji dolaze s radne stanice dorade šalju nasumično na prvi otvoreni atom *Assembler*.

Razlog zašto je tome tako jest što se dijelovi s radne stanice dorade distribuiraju na dvije montažne radne stanice, točnije radne stanice montaže priključka i montaže motora.

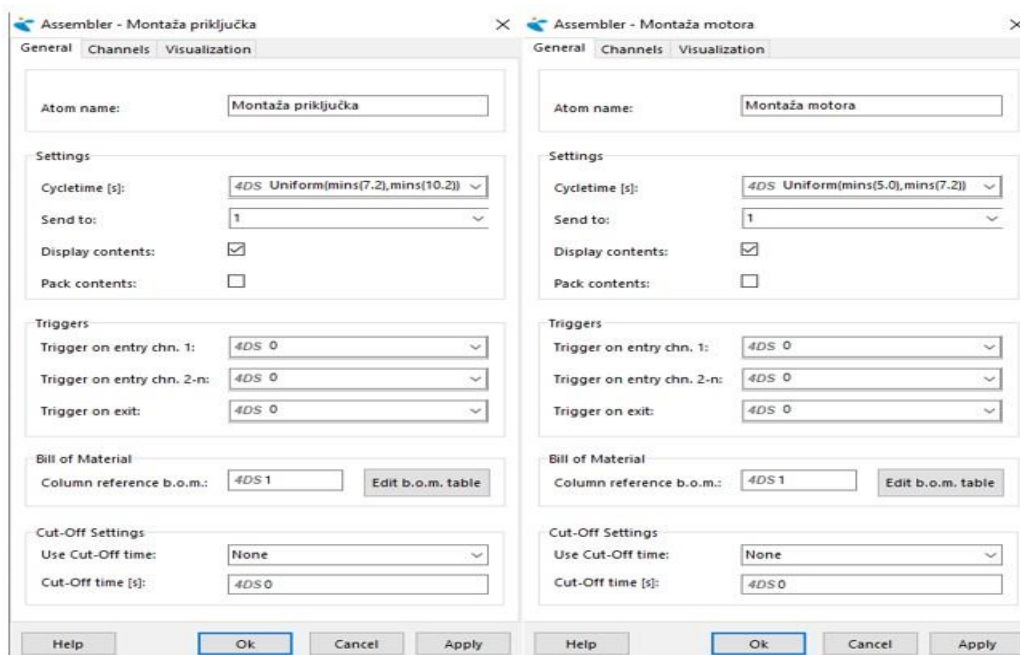
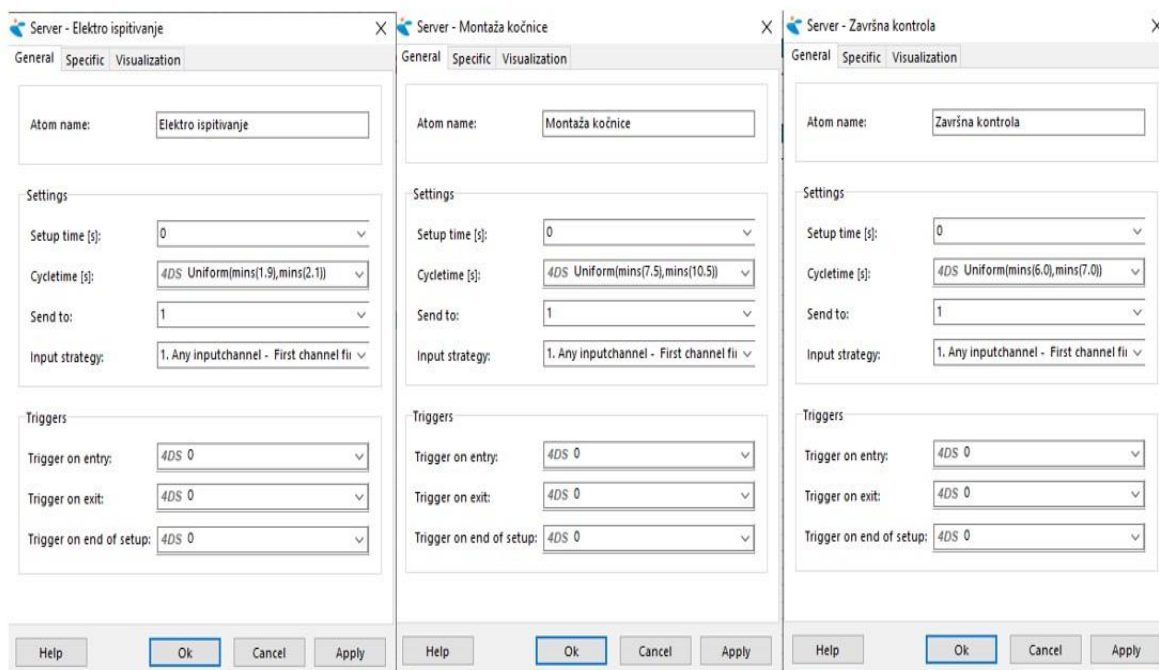


Slika 6.3 Podešavanje parametara atoma *Queue*

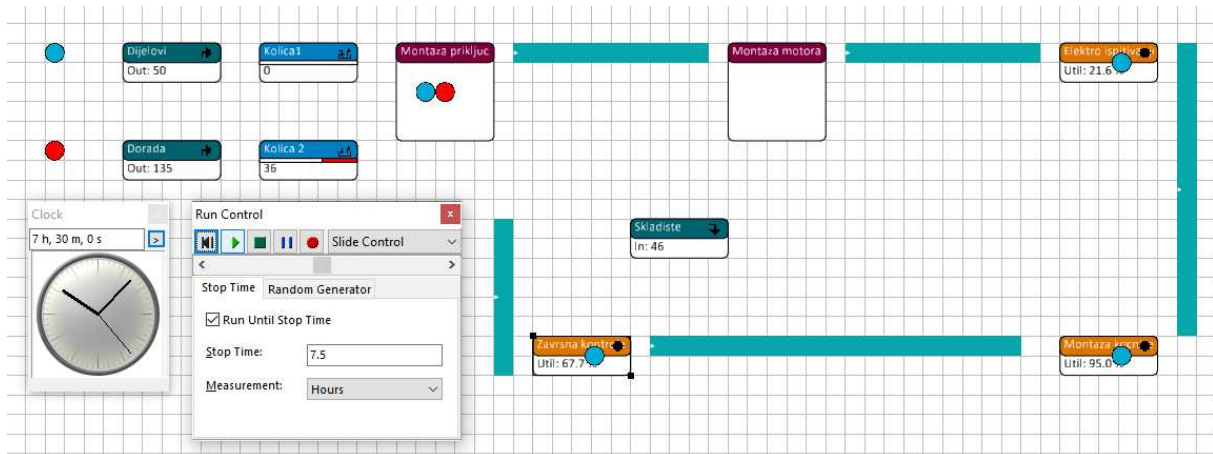
Parametri atoma „*Assembler1*“ i „*Assembler2*“ prikazani su slikom 6.4. Svi ostali parametri osim parametra vrijeme ciklusa nisu postavljeni te su ostali isti nakon dodavanja atoma iz stabla atoma. Vremena ciklusa podešena su uz pomoć uniformne razdiobe sukladno podacima dobivenim mjerenjima.

Kako vidimo prema slici 6.1 postoje tri atoma *Server* koji služe kako bi generirala vremena obrade elektromotora na radnoj stanici montaže kočnice i radnim stanicama elektro ispitivanja i završne kontrole. Većina postavki ovih atoma nisu podešene već ostaju identične nakon dodavanja atoma iz stabla, dok su postavke vremena ciklusa podešene uz pomoć uniformne razdiobe prema podacima dobivenim iz mjerenja sa sukladnim podacima na slici 6.5.



Slika 6.4 Podešavanje parametara atoma *Assembler*Slika 6.5 Podešavanje parametara atoma *Server*

Slikama 6.6 i 6.7 prikazani su rezultati dobiveni nakon pokretanja simulacije u razdoblju od jedne smjene ili 7,5 sati.



Slika 6.6 Model nakon pokretanja simulacije

## summary report

name	content		throughput		staytime average
	current	average	input	output	
Product1	0	0.000	0	0	0.000
Product2	0	0.000	0	0	0.000
Kolica1	0	0.067	50	50	36.279
Kolica 2	36	18.125	135	99	3597.660
Montaza priklju	2	1.944	100	49	1054.340
Dijelovi	1	0.000	51	50	0.000
Dorada	0	0.000	135	135	0.000
Accumulating Co	0	0.018	49	49	10.000
Montaza motora	0	1.337	98	49	736.980
Accumulating Co	0	0.018	49	49	10.000
Elektro ispitiv	1	0.216	49	48	119.679
Accumulating Co	0	0.325	48	48	182.708
Montaza kocnice	1	0.950	48	47	538.599
Accumulating Co	0	0.033	47	47	19.000
Završna kontrol	1	0.677	47	46	390.311
Accumulating Co	0	0.002	46	46	1.000
Skladiste	0	0.000	46	0	0.000

Model start time Thursday, November 17 2022 02:37:23  
 Model end time Thursday, November 17 2022 10:07:23  
 Runlength (seconds) 27000.00

End of report.

Slika 6.7 Rezultati dobiveni pokretanjem simulacije

Sa slika 6.6 i 6.7 vidi se kako je u razdoblju od 7,5 sati na liniji montirano 46 elektromotora te se mogu očitati stupnjevi iskoristivosti i vremena obrade na radnim stanicama definiranih atomom *Server* dok se isti moraju izračunati za radne stanice definirane atomima *Assembler*. Pri tome je potrebno napomenuti kako su vremena prikazana na slici prikazana u sekundama. Način na koji se prosječna vremena obrade po elektromotoru te stupanj iskoristivosti mogu izračunati za atome *Assembler* definiran je sljedećim formulama.

Za prosječna vremena montaže:

$$t = \frac{t_{sim}}{2} \text{ (s)} \quad (1)$$

Gdje je:

$t$  (s) prosječno vrijeme montaže na radnoj stanici

$t_{sim}$  (s) vrijeme montaže dobiveno pokretanjem simulacije.

Za prosječan stupanj iskoristivosti kapaciteta:

$$\mu = \frac{\mu_{sim}}{2} \times 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

Gdje je:

$\mu$  (%) stupanj iskoristivosti kapaciteta

$\mu_{sim}$  (%) stupanj iskoristivosti kapaciteta dobiven pokretanjem simulacije

Nakon definiranja formula možemo ispisati vrijednosti za stupanj iskoristivosti svake pojedine radne stanice:

Montaža priključka → 96.35 (%)

Montaža motora → 66.45 (%)

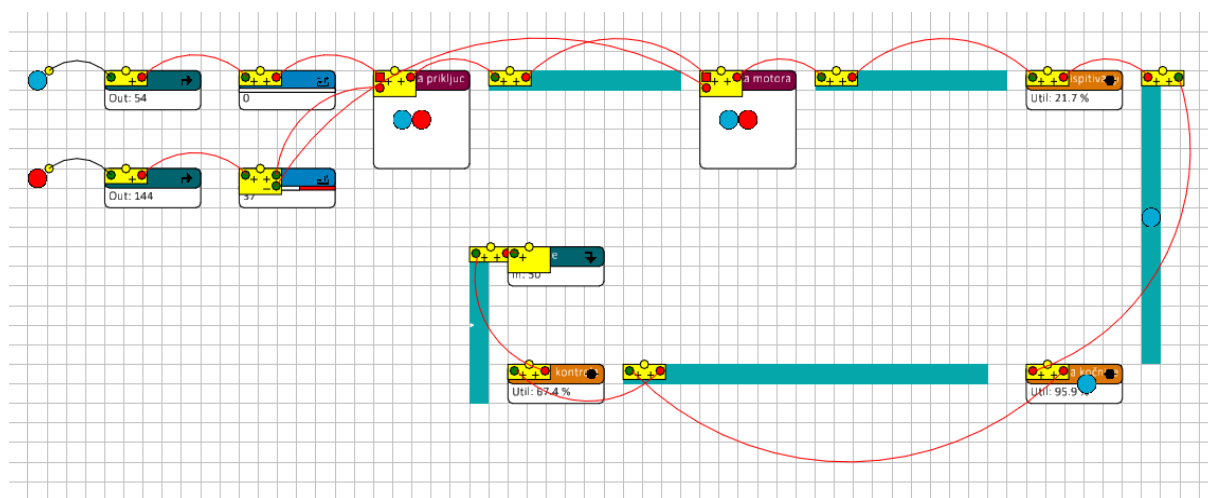
Elektro ispitivanje → 21.5 (%)

Montaža kočnice → 95.3 (%)

Završna kontrola → 68 (%)

Kako bismo bili sigurni da se postojeći model ponaša prema konceptualnom te da li su rezultati dobiveni simulacijom isti ili približni stvarnim rezultatima, potrebno je provesti verifikaciju i validaciju modela.

Verifikacija modela je proces kojim se provjerava ponaša li se računalni model prema konceptualnom modelu. Provjeravaju se korišteni atomi, veze između atoma te postavke atoma. Verifikacija modela prikazana je slikom 6.8 na kojoj se vide kanali pomoću kojih su spojeni atomi modela te poluproizvodi prikazani plavim krugovima, odnosno dijelovi s radne stanice dorade prikazani crvenim krugovima, dok su ostale vrijednosti atoma prikazane na prethodnim slikama u ovom poglavlju.



Slika 6.8 Verifikacija simulacijskog modela

Nakon provjere računalnog modela zaključak je da se model ponaša prema konceptualnom modelu te je moguće pristupiti validaciji. Validacija označava usporedbu rezultata sa stvarnim rezultatima, odnosno osigurava da je model dovoljno precizan za provedbu daljnjih simulacija i testiranja. Validacija modela izvedena je na način da se odredi vrijeme trajanja ciklusa svake radne stanice te da se na temelju najduljeg vremena odredi usko grlo koje predstavlja takt proizvodnje.

	t1 [min]	t2 [min]	E(x) [min]				
RS1	7,2	10,2	8,7	Dnevno raspoloživo radno vrijeme	8 h	=	450 min
RS2	5	7,2	6,1	Vrijeme ciklusa	0,54 h	=	32,3 min
RS3	1,9	2,1	2	Vrijeme takta	0,15 h	=	9 min
RS4	7,5	10,5	9				
RS5	6	7	6,5	Količina proizvoda	=		47,41111

Slika 6.9 Validacija simulacijskog modela

Vrijeme ciklusa dobiveno je izračunom vrijednosti uniformnih razdioba za svaku pojedinu stanicu. Najdulje vrijeme ciklusa na četvrtoj radnoj stanici predstavlja taktno vrijeme dok je ukupno vrijeme ciklusa dobiveno sumom vremena ciklusa na svakoj radnoj stanici. Količina montiranih motora u jednom danu dobivena je tako da se od ukupno raspoloživog vremena oduzelo vrijeme ciklusa te pribrojilo vrijeme takta te se nadalje taj rezultat podijelio s vremenom takta. Pokretanjem simulacije dobiveni output motora iznosi 47 što je približno jednako rezultatu dobivenim analitičkim putem te je na taj način validiran ovaj simulacijski model.

## 7. ZAKLJUČAK

Fokus ovog diplomskog rada jest na implementaciji Lean Six Sigma metode u proizvodno poduzeće. U ovom radu obuhvaćene su i objašnjene metodologije i alati Leana i Six Sigme. Njihovom implementacijom moguće je poboljšati efikasnost i produktivnost proizvodnih poduzeća te je potrebno naglasiti kako, unatoč jednostavnosti ovih metoda i alata, oni zahtijevaju visoku razinu posvećenosti svih zaposlenika kako bi se njihovom primjenom postigli što bolji rezultati poslovanja.

Nakon višestrukih mjerenja, zapažanja aktivnosti na radnim stanicama te razgovora sa zaposlenicima, dobiven je jasan uvid u problematiku samog procesa montaže i trajanje pojedinih aktivnosti na radnim stanicama u procesu montaže. Ovi podatci i zapažanja poslužili su za provođenje analize i karakterizacije gubitaka čime se stvorila jasnija slika o samom procesu i postavili prijedlozi potencijalnih poboljšanja procesa.

Ustanovljeno je kako se provedbom Lean Six Sigma Green Belt projekta u poduzeću KONČAR – MES d.d. došlo do sinergije između benefita koje metodologija pruža te otvorenosti i spremnosti na ulaganja u poboljšanje poslovnih procesa unutar poduzeća. Postignut poslovni uspjeh očituje se u kraćem vremenu ciklusa montaže elektromotora te protočnijoj montaži na novoj liniji. Tako se smanjilo vrijeme na prvoj radnoj stanici montaže priključka sa 110 minuta na 90 minuta, na drugoj radnoj stanici montaže motora vrijeme ciklusa se smanjilo sa 75 minuta na 60 minuta i na posljednjoj trećoj radnoj stanici montaže kočnice vrijeme ciklusa je reducirano na 95 minuta sa početnog vremena od 110 minuta. Isto tako, uvođenjem nove montažne linije eliminirali su se gubici transporta elektromotora koji su iznosili 12 minuta.

Daljnijim provođenjem Lean Six Sigma projekata te implementacijom metodologije i na ostale procese unutar poslovnog sustava, poduzeću se otvaraju mogućnosti kontinuiranog poboljšanja te jasnijeg uvida u probleme bez značajnijih financijskih ulaganja. Takav je pristup poželjan u današnjem globalno povezanom, više nego ikad konkurentnom tržištu u kojem je bitno ostvariti konkurentsku prednost.

Lean Six Sigma metodologija teži k postizanju kontinuiranih poboljšanja te se poduzeća koja žele imati benefite od njene implementacije moraju posvetiti konstantnom unapređenju procesa unutar poslovnih sustava i eliminiranju gubitaka. Jedino na takav način moguće je unutar poduzeća ostvariti dugoročnu korist od primjene Lean Six Sigma metoda i alata.

## LITERATURA

- [1] Womack JP, Jones DT. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Free Press; 2003.
- [2] Hänggi R, Fimplel A, Sigenthaler R. LEAN Production – Easy and Comprehensive: A practical guide to Lean processes explained with pictures. 1st ed. Berlin: Springer Vieweg; 2022.
- [3] Womack JP, Jones DT, Roos D. The Machine That Changed the World. Free Press; 1990.
- [4] Žvorc M. Lean menadžment u neproizvodnoj organizaciji, Ekonomski vjesnik. 2013;26(2):695-708. Dostupno online: <https://hrcak.srce.hr/116466>
- [5] Sedam vrsta gubitaka: <http://project-management-srbija.com/Lean-menadzment>, Pristupljeno: 12. listopada 2022.
- [6] Osam pristupa lean poslovnog sustava: <https://cutt.ly/y1zgrpN>, Pristupljeno: 14. listopada 2022.
- [7] Lean Six Sigma metodologija: <https://cutt.ly/K1zf29N>, Pristupljeno: 10. rujna 2022.
- [8] McCarty T, Daniels L, Bremer M, Gupta P. The Six Sigma Black Belt Handbook. 1st ed. New York: McGraw-Hill; 2005.
- [9] Knowles G. Six sigma. 1st.ed. Graeme Knowles & Ventus Publishing ApS, 2011.
- [10] Mudronja, V. Kontrola kvalitete predavanja. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2012.
- [11] DMAIC i DMADV modeli: <https://cutt.ly/I1zgZ8n>, Pristupljeno: 11. rujna 2022.
- [12] Tampubolon S, Purba H.H. Lean Six Sigma Implementation, A Systematic Literature Review. International Journal of Production Management and Engineering. 2021; 9(2): 125-139. Dostupno online: <https://cutt.ly/w11NNxy>
- [13] Basu R. The Green Six Sigma Handbook A Complete Guide for Lean Six Sigma Practitioners and Managers. 1st ed. New York: Productivity Press; 2022.
- [14] Bošnjak J, Pavičić M. Lean Six Sigma Green Belt obrazovni program, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [15] Lean Six Sigma kategorije pojaseva: <https://certificationacademy.com/six-sigma-belt-levels-explained/>, Pristupljeno: 13. rujna 2022.

- [16] Objašnjenja kategorizacija Lean Six Sigma: <https://www.sixsigmacouncil.org/6-sigma-body-of-knowlege/>, Pristupljeno: 13. rujna 2022.
- [17] DMAIC pristup : <https://kanbanize.com/Lean-management/six-sigma/dmaic>, Pristupljeno: 15. rujna 2022.
- [18] Gitlow H, Levine D. Six Sigma for Green Belts and Champions: Foundations, DMAIC, Tools, Cases, and Certification. 1st.ed. New Jersey: Pearson Education Inc; 2005.
- [20] Watson GH. ESTIEM Lean Six Sigma Green Belt Course online materials, 2018.
- [21] Čelar D, Valečić V, Željezić D, Kondić Ž. Alati za poboljšavanje kvalitete. Technical journal. 2014; 8(3):258-268. Dostupno online: <https://hrcak.srce.hr/129384>
- [22] Adomėnas V, Vaišvila, A, Vaičikonis E. Analysis and Elimination of Nonconformity Causes–Increase of Organization Efficiency. Engineering economics, 2005; 43(3):9-14. Dostupno online: <https://inzeiko.ktu.lt/index.php/EE/article/view/11277>
- [23] Kays E, Prodhan S, Karia N, Karim M. Improvement of Operational Performance through Value Stream Mapping and Yamazumi Chart: A case of Bangladeshi RMG Industry. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019; 8(4):977-986. doi. [10.35940/ijrte.D9926.118419](https://doi.org/10.35940/ijrte.D9926.118419)
- [24] Boxplot definicija: <https://cutt.ly/v1zdoal>, Pristupljeno: 17. listopada 2022.
- [25] Boxplot slika: <https://cutt.ly/g1zdhdVL>, Pristupljeno: 17. listopada 2022.
- [26] Đukić G. Predavanja iz kolegija simulacije proizvodnih i logističkih sustava. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2022.
- [27] Materijali dobiveni od poduzeća Končar-Mes d.d.
- [28] Skalicki B, Grilec J. Električni strojevi i pogoni. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2005.