

Primjena Lean six sigma alata u poboljšanju proizvodnih procesa

Šimić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:235:599376>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Šimić

Zagreb, 2021. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Student:

Marko Šimić

Zagreb, 2021. godina.

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

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću na ukazanom povjerenju, pruženoj pomoći, strpljivim objašnjenjima i redovitoj dostupnosti tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem rukovoditelju odjela Razvoja proizvodnje Marku Huljaku, na pruženoj prilici za pisanje diplomskog rada u poduzeću Končar D&ST, na korisnim savjetima i pruženim materijalima.

Zahvaljujem svim zaposlenicima Končar D&ST-a na strpljivim odgovorima na sva moja pitanja i na ugodnoj suradnji.

Hvala prijateljima i kolegama na uvijek ugodnim druženjima i pruženoj podršci tijekom studija.

Posebno veliko hvala mojoj obitelji koja mi je omogućila studiranje i uvijek vjerovala u mene.

Marko Šimić



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 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur. broj: 15 - 1703 - 21 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MARKO ŠIMIĆ** Mat. br.: 0035197773

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena Lean six sigma alata u poboljšanju proizvodnih procesa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of Lean six sigma tools in production process improvement**

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 zahtjeva dodatna istraživanja kako bi se dokazali njihovi sinergijski efekti.

U radu je potrebno:

1. Napraviti pregled literature iz Lean six sigma područja.
2. Definirati najučestalije alate Lean six sigme i objasniti njihovu primjenu.
3. Na temelju analize literature opisati vlastiti pristup poboljšanju postojećeg stanja u proizvodnom poduzeću.
4. Za proizvoljno odabrano poduzeće primijeniti ranije spomenute alate s ciljem unaprjeđenja procesa.
5. Sumirati i kvantificirati očekivane i postignute rezultate.

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

Zadatak zadan:
21. siječnja 2021.

Rok predaje rada:
25. ožujka 2021.

Predviđeni datum obrane:
29. ožujka do 2. travnja 2021.

Zadatak zadao:
doc. dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednica Povjerenstva:
prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
POPIS KRATICA	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	1
2. METODOLOGIJA VITKE PROIZVODNJE	2
2.1. Nastanak vitke metodologije.....	2
2.2. Vitki proizvodni pogon	3
2.3. Vitki alati.....	5
2.3.1. 5S	6
2.3.2. Gemba	8
2.3.3. Poka-yoke	9
2.3.4. SMED (engl. Single Minute Exchange Of Die)	10
2.3.5. Standardizacija rada	12
3. SIX SIGMA METODOLOGIJA	14
3.1. Podjela uloga prema Lean Six Sigma (LSS) metodologiji	16
3.2. Vrste gubitaka prema Lean Six Sigma metodologiji	19
3.3. DMAIC proces	20
3.3.1. Faza definiranja (engl. Define phase)	20
3.3.1.1. Projektna povelja	21
3.3.1.2. Poopćeni procesni dijagram – SIPOC dijagram	23
3.3.1.3. Yamazumi dijagram.....	24
3.3.1.4. Mapiranje procesa i dijagram toka.....	25
3.3.2. Faza mjerenja (engl. Measure phase).....	28
3.3.2.1. Pareto dijagram	28
3.3.2.2. Boxplot dijagram (Pravokutni/kutijasti dijagram).....	29
3.3.2.3. Analiza sposobnosti procesa (engl. Process Capability Analysis – PCA).....	31
3.3.3. Faza analiziranja (engl. Analyze phase)	33
3.3.3.1. Dijagram uzrok – posljedica (Ishikawa dijagram).....	33
3.3.3.2. Analiza potencijalnih problema (engl. Potential Problem Analysis - PPA).....	35
3.3.4. Faza poboljšavanja (engl. Improve phase).....	37
3.3.4.1. Proces kreativnog dijaloga.....	37
3.3.4.2. Matrica isplativosti.....	38
3.3.4.3. Plan implementacije.....	39
3.3.5. Faza kontroliranja (engl. Control phase)	40
4. PRIMJENA LEAN SIX SIGMA METODOLOGIJE U POBOLJŠANJU PROIZVODNOG PROCESA ODABRANOG PODUZEĆA	41

4.1. Odabrano poduzeće.....	41
4.2. Praktična primjena DMAIC procesa.....	44
4.2.1. Faza definiranja (engl. Define phase).....	44
4.2.1.1. Projektna povelja.....	44
4.2.1.2. Poopćeni procesni dijagram.....	45
4.2.2. Faza mjerenja (engl. Measure phase).....	48
4.2.2.1. Mapiranje procesa i dijagram toka.....	50
4.2.3. Faza analiziranja (engl. Analyze phase).....	51
4.2.3.1. Yamazumi dijagram.....	52
4.2.3.2. Boxplot dijagram – trajanje odlaganja alata.....	53
4.2.4. Faza poboljšavanja (engl. Improve phase).....	55
4.2.4.1. Prijedlog 1: Prebacivanje prvih dviju faza procesa izmjene alata na drugog radnika.....	55
4.2.4.2. Prijedlog 2: Čišćenje reznih noževa i čeličnih distancera za vrijeme rada stroja.....	56
4.2.4.3. Potencijalna ušteda vremena provedbom prijedloga 1 i 2.....	57
4.2.4.4. Prijedlog 3: Uvođenje radnih kolica i priprema alata.....	58
4.2.4.5. Potencijalna ušteda vremena provedbom prijedloga 1, 2 i 3.....	61
5. ZAKLJUČAK.....	63
LITERATURA.....	64

POPIS SLIKA

Slika 1.	5S vitki alat [6].....	6
Slika 2.	Primjer upotrebe poka-yoke alata [7].....	9
Slika 3.	Provedba SMED metode [9].....	10
Slika 4.	Vrijeme izmjene alata [10].....	11
Slika 5.	Krivulja normalne raspodjele i varijacije procesa [12].....	15
Slika 6.	Uloge prema Lean Six Sigma metodologiji [16].....	17
Slika 7.	DMAIC proces.....	20
Slika 8.	Predložak projektne povelje.....	21
Slika 9.	Vizualni pregled procesa.....	23
Slika 10.	Poopćeni procesni dijagram – SIPOC dijagram.....	23
Slika 11.	Yamazumi dijagram i vrednovanje procesnih aktivnosti.....	24
Slika 12.	Optimiranje procesa pomoću Yamazumi dijagrama.....	25
Slika 13.	Serijski uzorak toka rada [21].....	26
Slika 14.	Primjer mapiranog procesa [21].....	26
Slika 15.	Primjer dijagrama toka [20].....	27
Slika 16.	Simboli i pripadajuće aktivnosti dijagrama toka [20].....	27
Slika 17.	Primjer Pareto dijagrama [23].....	29
Slika 18.	Karakteristike boxplot dijagrama [25].....	29
Slika 19.	Primjer upotrebe boxplot dijagrama [25].....	30
Slika 20.	Postizanje sposobnog procesa njegovim poboljšavanjem [28].....	31
Slika 21.	Različite vrijednosti indeksa sposobnosti procesa C_p [27].....	32
Slika 22.	Predložak Ishikawinog dijagrama [22].....	34
Slika 23.	Proces kreativnog dijaloga [20].....	37
Slika 24.	Matrica isplativosti.....	38
Slika 25.	Struktura isporučenog po tržištima 2019. [31].....	41
Slika 26.	Kretanje prihoda od prodaje [31].....	42
Slika 27.	Struktura ugovorenog po asortimanu 2019. [31].....	42
Slika 28.	Osnovni dijelovi transformatora [32].....	43
Slika 29.	Magnetna jezgra transformatora [34].....	44
Slika 30.	Projektna povelja.....	45
Slika 31.	Poopćeni procesni dijagram za Rezni centar.....	46
Slika 32.	Broj i trajanje izmjena alata na Liniji za uzdužno rezanje lima [35].....	47
Slika 33.	Poopćeni procesni dijagram Linije za uzdužno rezanje lima.....	48
Slika 34.	Trenutno zabilježena raspodjela vremena za 1 smjenu (Linija za uzdužno rezanje)	49
Slika 35.	Trenutno zabilježena raspodjela vremena za 1 ciklus između dviju izmjena alata (Linija za uzdužno rezanje).....	49
Slika 36.	Dijagram toka izmjene alata na Liniji za uzdužno rezanje lima.....	50
Slika 37.	Yamazumi dijagram – trenutni proces.....	52
Slika 38.	Boxplot dijagram za trajanje odlaganja distancera ispred radnika.....	53
Slika 39.	Boxplot dijagram za trajanje odlaganja distancera iza radnika.....	54
Slika 40.	Boxplot dijagram za trajanje odlaganja distancera na ormar uz stroj.....	54
Slika 41.	Pretvorba u vanjske aktivnosti.....	55
Slika 42.	Pretvorba u vanjsku aktivnost (za vrijeme rada stroja).....	56
Slika 43.	Yamazumi dijagram – nova raspodjela aktivnosti implementiranjem prijedloga 1 i 2.....	57
Slika 44.	Potencijalno uštedeno vrijeme provedbom prijedloga 1 i 2.....	58

Slika 45.	Zajednički boxplot dijagram za sve 3 lokacije odlaganja distancera	59
Slika 46.	Yamazumi dijagram – nova raspodjela aktivnosti implementiranjem prijedloga 3	60
Slika 47.	Potencijalno uštedeno vrijeme provedbom prijedloga 1, 2 i 3	61
Slika 48.	Matrica isplativosti	62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba japanske vitke i američke masovne proizvodnje 80-ih godina 20. stoljeća [2]	4
Tablica 2. Utjecaj sposobnosti procesa na konkurentnost poduzeća [12]	15
Tablica 3. Sposobnost procesa [27]	32
Tablica 4. Predložak tablice analize potencijalnih problema	35
Tablica 5. Stupanj ozbiljnosti/učestalosti problema	36
Tablica 6. Predložak za plan implementacije	39
Tablica 7. Predložak za kontrolni plan	40

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis oznake
C_p	indeks sposobnosti procesa
LSL	donja granica zahtjeva (engl. <i>Lower Specification Limit</i>)
Q_1	prvi kvartil
Q_3	treći kvartil
T	tolerancijsko područje (raspon zahtjeva)
USL	gornja granica zahtjeva (engl. <i>Upper Specification Limit</i>)
X_{max}	najveća vrijednost niza
X_{min}	najmanja vrijednost niza
σ	standardna devijacija

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
5W / 5 Why's	5 Zašto – Gdje, Što, Kada, Tko, Zašto (engl. <i>Where, What, When, Who, Why</i>)
6M	Oprema, Metoda, Materijal, Čovjek, Mjerenje, Okolina (engl. <i>Machine, Method, Material, Man power (Mind power), Measurement, Milieu (Mother Nature)</i>)
A1	aktivnost 1
DMAIC	Definiraj, Izmjeri, Analiziraj, Poboljšaj, Kontroliraj (engl. <i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>)
GE	korporacija General Electric
IBM	korporacija International Business Machines
JIT	pravovremena proizvodnja, proizvodnja bez zaliha (engl. <i>Just In Time</i>)
LSS	Lean Six Sigma
NVA	ne dodajući vrijednost (engl. <i>Non Value Adding</i>)
NVAT	vrijeme koje ne dodaje vrijednost (engl. <i>Non Value Adding Time</i>)
OEE	Cjelokupna učinkovitost opreme (engl. <i>Overall Equipment Effectiveness</i>)
P1	posljedica 1
PCA	Analiza sposobnosti procesa (engl. <i>Process Capability Analysis</i>)
PDCA	Planiraj – Učini – Provjeri – Djeluj (engl. <i>Plan – Do – Check – Act</i>)
PP1	potencijalni problem 1
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, Nedostaci (engl. <i>Transportation, Inventory, Motion, Waiting, Overproduction, Overprocessing, Defects</i>)
TPM	Cjelovito produktivno održavanje (engl. <i>Total Productive Maintenance</i>)
TPS	Toyotin proizvodni sustav (engl. <i>Toyota production system</i>)
U1	uzrok 1
VA	dodajući vrijednost (engl. <i>Value Adding</i>)
VSM	Mapiranje toka vrijednosti (engl. <i>Value Stream Mapping</i>)
W	gubitci (engl. <i>Waste</i>)

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu je opisan nastanak vitkog menadžmenta te su opisane značajke vitkog pogona. Nabrojani su temeljni vitki alati te su neki od njih koji su korišteni u radu i detaljnije opisani. Zatim je opisana Six Sigma metodologija i dani su primjeri kompanija koje su vrlo uspješne u njenom provođenju. Kao spoj tih dviju metodologija nastala je Lean Six Sigma. U radu su također opisane uloge te gubitci prema Lean Six Sigma metodologiji. Zatim je dan pregled DMAIC procesa s primjerima njegovih često korištenih alata. U konačnici, slijedeći DMAIC pristup, opisan je primjer praktične primjene Lean Six Sigma metodologije u hrvatskom poduzeću Končar D&ST.

Ključne riječi: Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, SMED, Boxplot, Yamazumi, Končar D&ST

SUMMARY

This master thesis describes the origins of lean manufacturing and the characteristics of a lean factory. The basic lean tools are listed and some of them which have been used in this paper are described in more detail. Then the Six Sigma methodology is described and examples of companies with successful Six Sigma implementation are given. As a combination of these two methodologies, Lean Six Sigma was created. This thesis also describes the roles and losses according to the Lean Six Sigma methodology. An overview of the DMAIC process is then given with examples of its frequently used tools. Finally, following the DMAIC approach, an example of practical application of the Lean Six Sigma methodology in the Croatian company Končar D&ST is given.

Key words: Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, SMED, Boxplot, Yamazumi, Končar D&ST

1. UVOD

Na današnjem globalno povezanom tržištu većinom opstaju samo agilne kompanije koje su spremne na visoku razinu adaptacije i usmjerenost ka kupcu. Današnji kupac u samo nekoliko klikova dospije do izbora između široke palete proizvoda diljem svijeta te je poduzećima stoga teže nego ikad zadržati konkurentnost bez strmoglavog spuštanja cijena svojih proizvoda.

Dok je Fordova masovna industrija s isto takvim masovnim skladištenjem gotovih proizvoda nekad možda još i imala smisao, danas se kompanije moraju okretati vitkom poslovanju.

Vitkim poslovanjem moguće je ne samo opstojanje na tržištu, već i pozicioniranje kao tržišni lider. No kako bi to nekome uspjelo, lean je potrebno implementirati od prvog do zadnjeg koraka diljem poduzeća.

Kroz protekla desetljeća se uz standardni, od Toyotinih inženjera započeti vitki menadžment, razvilo i nekoliko drugih pristupa, među kojima i Six Sigma koja svojim analitičkim alatima savršeno nadopunjuje klasičan Lean. Povezivanjem tih dviju metodologija i njihovih alata nastala je složenica Lean Six Sigma koja je sve učestalija u provođenju projekata kontinuiranog poboljšanja i ostvarivanja vrhunske kvalitete.

Ovaj diplomski rad bavi se upravo jednim takvim, Lean Six Sigma projektom, s provedbom u poduzeću Končar D&ST.

2. METODOLOGIJA VITKE PROIZVODNJE

2.1. Nastanak vitke metodologije

Nakon Drugog svjetskog rata u Japanu je vladala poslijeratna kriza, japansko tržište je bilo izolirano i malo te su radnici bili nezadovoljni radnim uvjetima. Postojala su ograničenja vezana za zemljište, dostupni su bili samo mali dobavljači te je bilo premalo novca za ulaganje u najmodernije tehnologije toga vremena. Tih su godina japanski industrijski inženjeri u Toyoti Taiichi Ohno i Eiji Toyoda razmatrali mogućnosti kojima bi uspjeli postići opstanak njihovog poduzeća. Slamku spasa pronašli su promatrajući metode Henryja Forda u njegovim velikim tvornicama automobila u Americi.

Kako je Japan je u razdoblju od 1945. do 1952. godine bio okupiran od strane američke vojske, Amerikanci su koristili mogućnosti angažiranja japanskih tvornica za proizvodnju njima potrebnih proizvoda. Tako su odredili kako će kompanija u obiteljskom vlasništvu Toyota za njih proizvoditi vojne kamione za američke postrojbe u Koreji. Eiji-a Toyodu, člana vlasničke obitelji tog poduzeća, američka je vojska odlučila poslati u jednu od Fordovih američkih tvornica kako bi tamo na licu mjesta naučio sve o masovnoj proizvodnji, s ciljem kasnije primjene istih principa u proizvodnji njima potrebnih vojnih kamiona. Eiji je taj tromjesečni posjet Fordovim proizvodnim pogonima savršeno iskoristio te detaljno proučio na koji je način tekla Fordova proizvodnja [1].

Henry Ford je svoje revolucioniziranje američke industrije nastavio kada je 1913. godine predstavljena njegova pokretna proizvodna linija kojom je upotpunio masovnu proizvodnju koja je postala drastično brža, a istovremeno su time ugašeni i posljednji elementi zanatske proizvodnje.

Japanci si takvu masovnu proizvodnju poput američke ni na koji način nisu mogli priuštiti, no bilo im je jasno da će morati preuzeti mnoge Fordove koncepte samo uz manje svega: manje pogona, manje skladišta, manje vremena, manje ljudskog napora, manje investicija, napora i kapitala. Tako je, počevši 1948. godine, po povratku Eiji-a Toyode iz Amerike, nastao takozvani TPS – Toyotin sustav proizvodnje (engl. *Toyota production system*). Toyoda i Ohno su u naredna dva desetljeća uz pomoć svojih suradnika razvili vitke proizvodne procese pomoću kojih su postupno uspjeli uhvatiti korak s drugim uspješnim svjetskim proizvođačima automobila. O vitkim alatima koje su pritom razvili bit će riječ u nastavku ovog poglavlja, no o njihovoj svrsi najbolje govori Taiichi Ohnov antropomorfni pogled na sirovine: „Upravo kao

što zaposlenik ne bi smio sjediti besposlen, na isti način komad metala ili plastike ne bi smio stajati sa strane, a da ga nitko ne koristi.“

Još jedna zanimljivost leži u izjavi Eiji-a Toyode kada je četvrt stoljeća nakon prvog posjeta Fordovim tvornicama ponovo posjetio jednu od američkih tvornica te pritom ustanovio: „Cijela je tvornica identična kao što je bila i prije 25 godina!“, što jasno sugerira kolika je važnost poticanja kulture kontinuiranog poboljšanja koju su Japanci izuzetno uspješno provodili, a prethodno razvijeniji Zapad je u tome počeo kaskati za njima [2].

2.2. Vitki proizvodni pogon

U brojnim japanskim tvrtkama s visoko implementiranim stupnjem vitke proizvodnje krajem prošlog stoljeća sveučilišno obrazovani inženjeri mehanike, elektrotehnike i materijala započinjali su svoju karijeru radeći na proizvodnim linijama, rame uz rame s ostalim zaposlenicima vitkog proizvodnog pogona.

U Hondi su mladi inženjeri na početnim pozicijama primjerice prva tri mjeseca provodili na proizvodnoj liniji, zatim su uslijedila tri mjeseca u odjelu za marketing, da bi potom bili premješteni u inženjerske odjele pri čemu su rotirani kroz odjele za pogonski sklop, karoseriju, šasiju i procesne strojeve. Tek nakon što su bili izravno izloženi cijelom postupku proizvodnje automobila specijalizirali su se za određeni odjel unutar poduzeća.

Vitki proizvodni pogon ima dvije ključne organizacijske značajke [3]:

1. Prebacivanje maksimalnog broja zadataka i odgovornosti na one radnike koji uistinu dodaju vrijednost proizvodu.
2. Uspostavljanje sustava za otkrivanje nedostataka koji brzo pronalazi svaki problem i raščlanjuje ga do krajnjeg uzroka.

Prva od ovih dviju značajki ukazuje na to da dinamični radni tim čini srce vitke radne organizacije, pri čemu sastavljanje takvog učinkovitog tima nije nimalo jednostavno.

Radnike pri tome treba podučavati širokom spektru vještina, odnosno svim poslovima u njihovoj radnoj grupi kako bi se zadaci mogli izmjenjivati i radnici nadopunjavati jedni druge.

U dodatne vještine koje bi radnici trebali steći spadaju jednostavan popravak stroja, provjera kvalitete, održavanje čistoće u pogonu i eventualno naručivanje materijala.

Uz to, potrebno je poticati zaposlenike na proaktivnost u poslu, kako bi i oni sami razmišljali o potencijalnim rješenjima nekih manjih problema koji se javljaju na radnom mjestu, dok ti problemi još nisu prerasli u ozbiljne poteškoće.

Važni čimbenici vitke proizvodnje su osim toga [3]:

- iskorištenost prostora u proizvodnom pogonu (potrebno maksimizirati)
- razina zaliha (potrebno minimizirati)
- postotak tvornice posvećen preradi neispravno proizvedenih proizvoda (potrebno minimizirati).

Tablica 1. Usporedba japanske vitke i američke masovne proizvodnje 80-ih godina 20. stoljeća [2]

Metrika	Japan	USA
Output:		
•Produktivnost (sati/vozilo)	16.8	25.1
•Kvaliteta (pogreške/100 vozila)	60.0	82.3
Radna snaga:		
•% radnika u timovima	69.3	17.3
•Broj vrsta poslova	11.9	67.1
•Prijedlozi/Zaposleniku	61.6	0.4
Layout:		
•Prostor (m2/vozilo/godišnje)	5.7	7.8
•Prostor za dorade i popravke (% prostora za montažu)	4.1	12.9
•Zalihe (dani)	0.2	2.9

Kao što je prikazano tablicom 1 proaktivnost zaposlenika te maksimalno iskorišteni prostor proizvodnih pogona značajno su utjecali na produktivnost tvornica te kvalitetu proizvedenih vozila u Japanu.

Ovim brojkama nedvojbeno je dokazano kako korištenje vitkih alata u proizvodnji te težnja ka vitkom poduzeću donose ogromne prednosti u odnosu na uobičajenu masovnu proizvodnju.

2.3. Vitki alati

Temeljnim vitkim alatima smatraju se [4]:

- 5S
- Andon
- Analiza uskih grla
- Kontinuirani tok
- Gemba
- Heijunka (niveliranje proizvodnje)
- Hoshin kanri (usmjerenost menadžmenta)
- Jidoka (alat za poboljšanje organizacijske učinkovitosti)
- JIT (engl. *Just In Time*)
- Kaizen (kontinuirani proces poboljšanja kvalitete i učinkovitosti)
- Kanban
- Ključni indikatori učinkovitosti
- Muda (eliminacija gubitaka)
- OEE - mjerenje učinkovitosti strojeva (engl. *Overall Equipment Effectiveness*)
- PDCA (engl. *Plan – Do – Check – Act*)
- Poka-yoke
- Analiza glavnog uzroka
- SMED (engl. *Single Minute Exchange Of Die*)
- Šest velikih gubitaka
- Pametni ciljevi (engl. *SMART goals*)
- Standardizacija rada
- Taktno vrijeme
- TPM (engl. *Total Productive Maintenance*)
- VSM (engl. *Value Stream Mapping*)
- Vizualna tvornica.

Prema nekim autorima JIT, Jidoka, Kanban, 5S, Poka-yoke, SMED analiza i standardizacija rada najvažniji su vitki alati. Svi ti alati istinski su predstavnici vitkog poslovanja i za poduzeće se ne može reći da je vitko sve dok te alate ne integrira u svoje poslovanje. Prema tome standardizacija rada mora biti kvalitetno odrađena i nadograđivana kako bi poslovanje bilo profitabilnije i održivo. U ovom poglavlju bit će detaljnije objašnjeni vitki alati koji će se koristiti kod primjene u kasnijem praktičnom projektu, a to su 5S, Gemba, Poka-yoke, SMED analiza i standardizacija rada [4].

2.3.1. 5S

5S je izvorna japanska filozofija kojom se u radni prostor uvode red, čistoća i sigurnost. Iako se zbog jednostavne i povoljne implementacije čini kako se radi o vitkom alatu koji služi običnom uljepšavanju radnog mjesta i radne organizacije, 5S alat se pokazuje mnogo korisnijim nego što se na prvu može činiti. Stručnjaci iz Honde i Toyote procjenjuju da čak četvrtina svih neispravnih proizvoda i abnormalnosti proizlazi iz slabo uređenog i prljavog radnog prostora. Urednim i čistim radnim okruženjem postiže se veća produktivnost i sigurnost radnika te se znatno može utjecati na poboljšanje proizvodnog toka.

Uvođenje 5S filozofije temelji se na urednom i pozicijski optimalnom smještanju alata i materijala koji se redovito koriste u sklopu određenog radnog mjesta. Na taj način zaposlenik koji se tim alatima i materijalima koristi u proizvodnom procesu ne gubi vrijeme na njihovo pronalaženje niti na njihovo vraćanje na pravo mjesto nakon korištenja. Stoga je važno da alat i materijali budu nadohvat ruke radniku koji ih koristi te da su posloženi u onom redosljed u kojem se i koriste [5].



Slika 1. 5S vitki alat [6]

Kao što je prikazano slikom 1, 5S alat uvodi se kroz narednih pet koraka [5]:

1) Sortiranje (jap. *Seiri* – engl. *Sort*)

U prvom koraku implementacije 5S alata na radnom mjestu potrebno je detektirati sve predmete, materijale i alate nepotrebne za konkretnu radnu aktivnost te ih ukloniti iz radnog prostora. Predmete, alate i materijale koji se nikada ne koriste pri tome je potrebno trajno ukloniti iz poduzeća, a one koji zapravo pripadaju drugom radnom mjestu ili se izuzetno rijetko koriste potrebno je vratiti na pravo mjesto unutar poduzeća. Na promatranom radnom mjestu time ostaju samo redovito korišteni predmeti rada.

2) Red (jap. *Seiton* – engl. *Set In Order*)

Predmete rada koji su u koraku sortiranja identificirani kao redovito korišteni u ovom je koraku potrebno organizirano posložiti kako bi se njima zaposlenici mogli jednostavno i brzo koristiti. Implementaciju ovog koraka 5S alata moguće je jednostavnije ostvariti slijedećim narednih koraka:

- Često korišteni predmeti rada (alati, materijali i ostalo) moraju biti smješteni u blizini mjesta na kojem se koriste.
- Materijali i alati koji se koriste zajedno, trebaju biti i smješteni zajedno.
- Alat treba biti spremljen prema onom redoslijedu kojim se i koristi.
- Etiketiranje alata olakšava njegovo vraćanje na ispravno mjesto.
- Ergonomija - često korišten alat treba biti smješten na lako dostupnom mjestu kako bi se izbjegle nepotrebne, a često po zaposlenike nezdrave kretnje.

3) Čišćenje (jap. *Seiso* – engl. *Shine*)

Radni prostor potrebno je održavati čistim i urednim kako bi produktivnost rada zadržala inicijalnu razinu. Zaposlenike je pritom poželjno educirati o pozitivnim ishodima održavanja čistog radnog okruženja te ih na to poticati vlastitim primjerom. Održavanje čistoće radnog prostora potrebno je provoditi na dnevnoj bazi kako bi se ono istinski odrazilo na produktivnost poduzeća, ali i zadovoljstvo njegovih zaposlenika.

4) Standardizacija (jap. *Seiketsu* – engl. *Standardize*)

Općenita standardizacija rada detaljnije će biti pojašnjena u kasnijem poglavlju. U vidu implementacije 5S alata standardizacija se provodi pisanim dokumentiranjem novouvedenog rasporeda alata i materijala na radnom mjestu. Još je važnije vizualno dokumentiranje (primjerice korištenjem plakata s vizualnim uputama) koje zaposlenicima daje brzi pregled kako je zamišljeno uredno radno mjesto te optimalan raspored predmeta rada.

5) Samodisciplina (jap. *Shitsuke* – engl. *Sustain*)

Samodisciplina se smatra najzahtjevnijim korakom 5S alata. Naime nije dovoljno jednom provesti implementaciju prvih četiriju koraka 5S filozofije, već je ključno zadržati istu razinu organiziranosti i čistoće te se uz to prilagođavati novonastalim uvjetima.

Naknadno je 5S alatu pridodan i šesti korak implementacije, a to je sigurnost (engl. *Safety*). Pri kvalitetnom uređenju radnog mjesta uvijek je potrebno u vidu imati i potencijalne mogućnosti nezgoda i ozljeda na radu te je 5S (6S) alat jedan od najboljih za sprječavanje istih.

2.3.2. *Gemba*

U prijevodu s japanskog jezika *gemba* znači „mjesto gdje se odvijaju aktivnosti“, a prema načelima vitke proizvodnje vodeći ljudi u poduzećima moraju osjetiti proizvodnju svojim rukama i vidjeti procese svojim očima. Direktori, rukovoditelji i inženjeri ne smiju biti otuđeni od proizvodnje i radnika, već moraju stvarati prilike za kontinuirani napredak, a to se postiže redovitim odlascima u proizvodne pogone što se popularno još naziva „*gemba šetnjama*“. Svaki takav prolazak pogonom mora rezultirati barem jednom idejom za poboljšanje.

Pitanja koja se preporučuju postaviti zaposlenicima tijekom provedbe *gemba* alata su:

- 1) Što trenutno radite?
- 2) Postoji li dokumentirana standardizirana procedura za taj rad?
- 3) S kojim se izazovima suočavate tijekom rada?
- 4) Što smatrate da bi se moglo popraviti?
- 5) Što mislite da se ne može popraviti?
- 6) Kome se obraćate kada uočite problem?

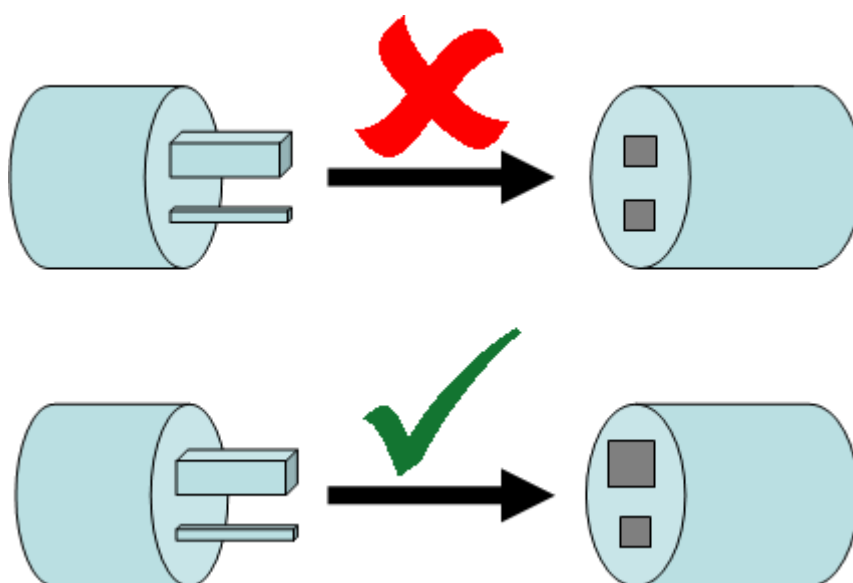
Slušanjem i uvažavanjem zaposlenika te njihovih mišljenja o vlastitom poslu, radnom mjestu te problemima s kojima se svakodnevno susreću za vrijeme radnog vremena, moguće je dobiti širu sliku o tome koje je korake potrebno nadalje poduzeti kako bi se popravila motiviranost i produktivnost radnika, ali i donijele ispravne odluke o kontinuiranom poboljšanju unutar poduzeća [4].

2.3.3. Poka-yoke

Poka-yoke je vitki alat s fokusom na detektiranje i prevenciju nastanka grešaka te postoje tri vrste poka-yoke kontrole:

- 1) Sukcesivna kontrola – osoba na sljedećoj operaciji daje informaciju operateru na prethodnoj operaciji ako primijeti abnormalnost na proizvodu.
- 2) Samokontrola – operater sam preispituje kvalitetu svog rada.
- 3) Kontrola izvora – operater preispituje abnormalnosti koje mogu uzrokovati neispravne proizvode.

Te tri vrste kontrole u praksi se provode pomoću poka-yoke naprava poput stezaljki, senzora, graničnika, šablona kao što je primjerice prikazano slikom 2 te poka-yoke procedurama kao što su kontrolne liste i upute za sklapanje [4].



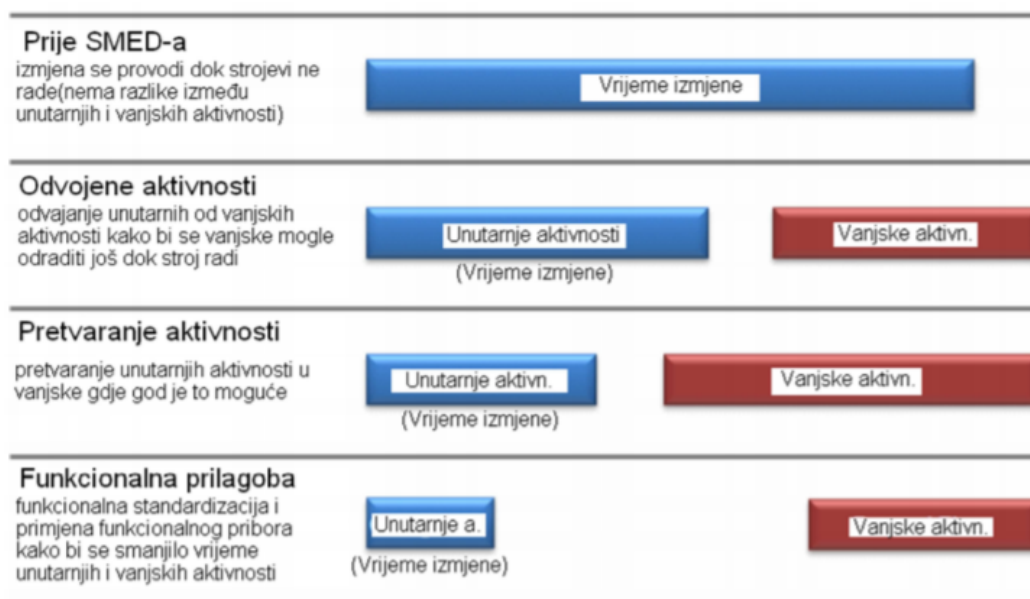
Slika 2. Primjer upotrebe poka-yoke alata [7]

Značajna prednost poka-yoke alata nad većinom ostalih vitkih alata je niska cijena i jednostavnost implementacije.

U kasnijim poglavljima rada postat će jasno kako u Lean Six Sigma projektima poka-yoke može imati važnu ulogu s obzirom na holistički pristup Six Sigma metodologije za postizanje proizvodnje sa samo 3-4 neispravna proizvoda na njih milijun. Budući da je cilj poka-yoke alata postići potpuno uklanjanje neispravnih proizvoda, vidljiva je velika sličnost između tih dviju filozofija [4].

2.3.4. SMED (engl. *Single Minute Exchange Of Die*)

Pod SMED metodologijom podrazumijeva se izmjena alata na strojevima pri čemu se cilja na postizanje vremena trajanja izmjene alata u jednoznamenkastim brojkama izraženim u minutama. Drugim riječima, svaku izmjenu alata vremenski bi trebalo reducirati na trajanje unutar deset minuta. Ovakav pristup razvio je japanski inženjer Shigeo Shingo koji je SMED metodom izrazito uspješno pomagao smanjiti vremena izmjene alata u brojnim poduzećima [8].



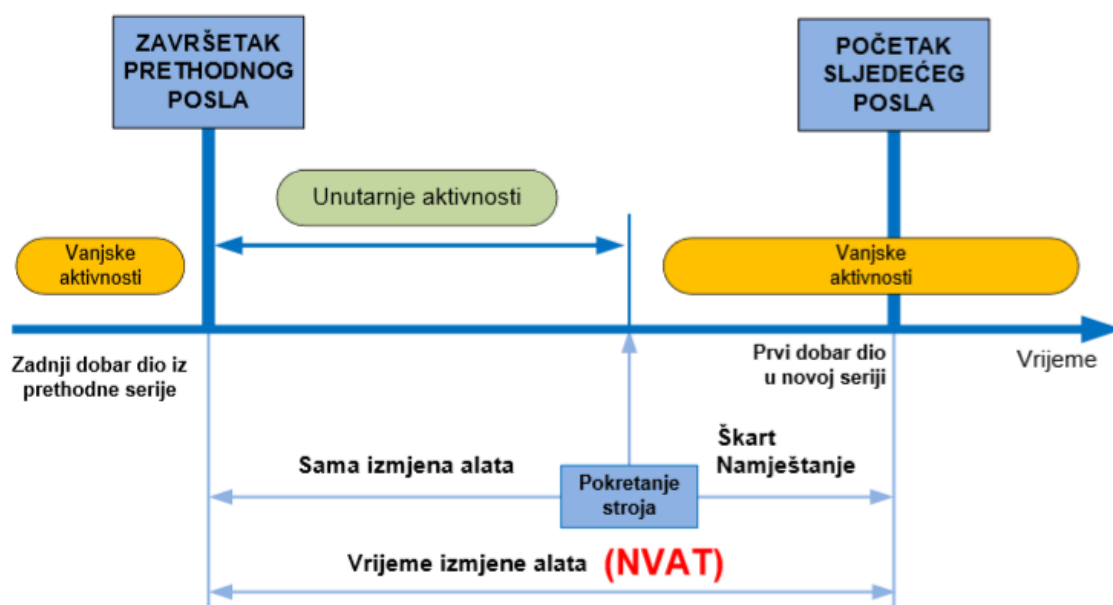
Slika 3. Provedba SMED metode [9]

Smanjivanjem vremena izmjene alata kao što prikazuje slika 3 ujedno dolazi do povećanja dostupnosti strojeva čime se poboljšava njihova iskoristivost, tj. eliminiraju se sve aktivnosti koje iz perspektive kupca nemaju dodanu vrijednost te se otvara mogućnost za povećanje proizvodnje ako za to postoji potreba.

Osim toga, SMED metodom se omogućuje proizvodnja u malim serijama, čime organizacija postaje fleksibilnija i konkurentnija [8].

Proces promjene alata najčešće čine 4 faze:

- 1) skidanje postojećeg alata
- 2) zamjena alata
- 3) podešavanje stroja
- 4) probni rad.



Slika 4. Vrijeme izmjene alata [10]

Vrijeme izmjene alata se kod SMED-a definira kao razdoblje između zadnjeg dobro proizvedenog proizvoda određene proizvodne serije do prvog proizvedenog proizvoda zadovoljavajuće kvalitete sljedeće proizvodne serije. Vremensko razdoblje između tih dvaju trenutaka čisti je gubitak za poduzeće kao što je prikazano slikom 4.

Bit SMED metodologije je stoga pretvorba što više aktivnosti tijekom izmjene alata u „vanjske (eksterne)“ aktivnosti, tj. one aktivnosti koje se odvijaju dok stroj radi, te pojednostavljenje „unutarnjih (internih)“ aktivnosti, odnosno onih koje se odvijaju dok stroj stoji.

Daljnji načini kojima se postiže smanjenje vremena izmjene alata su [4]:

- 1) Uklanjanje potrebe za izmjenom alata.
- 2) Optimizacija sustava kretanja, odnosno montaže i demontaže alata.
- 3) Bolji izbor osiguranja alata.
- 4) Bolji sustav podešavanja alata na stroj.
- 5) Optimalno čišćenje alata.
- 6) Optimalna konstrukcija stroja.
- 7) Dobar dizajn proizvoda.
- 8) Dobar dizajn alata.
- 9) Uredan i čist radni prostor (5S).
- 10) Sustavno provođenje programa smanjenja vremena izmjene alata.

2.3.5. Standardizacija rada

Standardizirani rad je vitki alat baziran na ljudskim pokretima. Cilj ovog alata je smanjiti na minimum gubitke u proizvodnji koji nastaju neefikasnim redoslijedom pokreta radnika tijekom izvršavanja njihovih radnih aktivnosti u proizvodnim procesima. Pravilnom standardizacijom rada postiže se najefikasnija moguća razina proizvodnje pri trenutnim uvjetima.

Standardizaciju rada moguće je uvesti pretvaranjem koraka procesa u niz pojedinačnih zadataka kojima se minimiziraju aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i koji se izvršavaju prema određenom redoslijedu za koji se zaključilo da je optimalan [5].

Radna organizacija koja si postavi za cilj uvođenje standardiziranog rada mora već imati određen broj postupaka koji su ponovljivi jer standardizacija nije moguća u nepredvidljivim i nekontroliranim uvjetima.

Standardizacija rada sastavni je element provođenja kontinuiranog poboljšanja te je nakon svakog provedenog projekta standardizacije kojim je došlo do unaprjeđivanja nekog proizvodnog procesa potrebno dokumentirati kako će se poboljšani proces ubuduće odvijati. Važno je da dokumentacija bude napravljena detaljno i precizno s obzirom na to da postoji mogućnost da trenutni radnici u nadolazećim godinama više neće ostati dio radne organizacije čime neće biti dostupni za konzultiranje i podučavanje novozaposlenih radnika [4].

Općenito govoreći, standardizacija osigurava sljedeće:

- smanjenu varijabilnost i broj korektivnih radnji
- veću sigurnost radnika
- poboljšanu komunikaciju
- povećanu vidljivost abnormalnosti
- lakši i brži trening ljudi
- povećanje radne discipline
- održivost poboljšanja.

Velika važnost leži u pravilnoj komunikaciji sa zaposlenicima koji će nakon provedenog projekta standardizacije rada biti nositelji promjena na svom radnom mjestu. Cilj je naučiti zaposlenike kako će se po novome izvoditi neki postupak da bi s vremenom isti postao rutina, no svakog zaposlenika je potrebno educirati o korisnosti i važnosti provedenih promjena. Zaposlenik bi se trebao moći poistovjetiti s vizijom poduzeća i provedenim promjenama, u suprotnom nastavit će svoj posao i radne korake izvoditi kako ih je izvodio i prije projekta standardizacije [5].

3. SIX SIGMA METODOLOGIJA

Pojednostavljeno rečeno, sigma je statistički pojam koji označava odstupanje (standardnu devijaciju - σ) zadanog procesa od očekivanog rezultata.

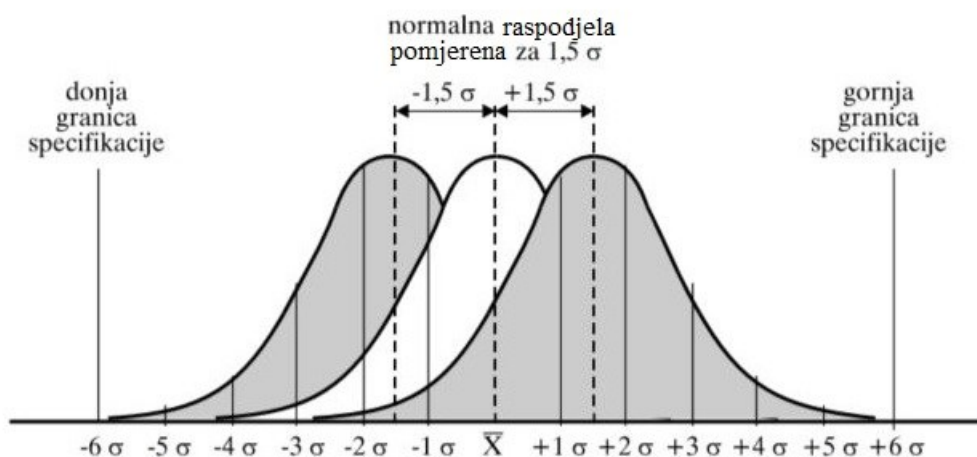
Six Sigma metodologija stoga se temelji na primjeni statističkih alata za mjerenje odstupanja (standardne devijacije - σ) od srednje vrijednosti statističke distribucije (Gaussove distribucije) neke pojave: radne operacije, aktivnosti ili procesa [11].

Six Sigma može se definirati i kao sustav za upravljanje kvalitetom usmjeren na postizanje kontinuiranog unaprjeđenja koje menadžment radne organizacije može postići u četiri koraka [11]:

- 1) Razumijevanje zahtjeva kupaca.
- 2) Ispunjavanje zahtjeva kupaca svođenjem razine varijacije u procesima na razinu od 6 sigma.
- 3) Korištenje kvalitetne analitike podataka za minimalizaciju varijacija u ključnim procesima.
- 4) Provođenje brzih i konstantnih poboljšanja u poslovnim procesima.

Pritom se šanse za uspješno provođenje Six Sigma modela u poduzeću znatno povećavaju ukoliko su ispunjeni određeni preduvjeti [11]:

- potpora vrhovnog menadžmenta
- organizacijska infrastruktura
- edukacija zaposlenika
- primjena naprednih statističkih alata
- sustav nagrađivanja zaposlenika uključenih u Six Sigma projekte.



Slika 5. Krivulja normalne raspodjele i varijacije procesa [12]

Teorijsku pozadinu Six Sigma metodologije čini ocjena odstupanja stvarnih pokazatelja procesa od normalne raspodjele odstupanja. Kada se pokazatelji procesa nalaze u određenim (dozvoljenim) granicama odstupanja, kvaliteta procesa je visoka. Stoga je cilj Six Sigma projekata identificirati uzročnike varijacija i odstupanja od željenih rezultata procesa te centriranje slikom 5 prikazane krivulje u skladu s normalnom raspodjelom, čime se postiže minimiziranje odstupanja.

Tablica 2. Utjecaj sposobnosti procesa na konkurentnost poduzeća [12]

Granice odstupanja	Broj grešaka na milijun	Cijena niske kvalitete	Nivo konkurentnosti
6 σ	3,4	< 10 % OP	Svjetska klasa
5 σ	233	10 - 15% OP	
4 σ	6210	15 - 20% OP	Srednja klasa
3 σ	66810	20 - 30% OP	
2 σ	308537	30 - 40% OP	Nekonkurentna
1 σ	690000		

Napomena: OP - obujam prodaje

Kako je prikazano tablicom 2, ukoliko je granica odstupanja stvarnih pokazatelja procesa od normalne raspodjele odstupanja dovedena na 6 σ , broj grešaka na milijun komada nekog proizvoda iznositi će svega 3,4, što poduzeća s tom razinom implementacije ove metodologije čini poduzećima najviše svjetske klase. Prvo takvo poduzeće koje je skrenulo pozornost na sebe uvođenjem Six Sigme bilo je Motorola 80-tih godina prošlog stoljeća. Motorola se stoga tada

smatrala predvodnikom u uvođenju i provođenju ove metodologije. Ubrzo nakon toga, brojne druge velike kompanije su slijedile Motorolin primjer i postigle ogromne dobitke na temelju toga. Tako je primjerice tvrtka General Electric (GE) tijekom 1999. godine ostvarila razliku u profitu veću od 2 milijarde američkih dolara samo na temelju uvođenja Six Sigme.

Six Sigma kao moderna strategija upravljanja kvalitetom može pomoći poduzećima u postizanju i održavanju dugoročnog poslovnog uspjeha. Ona svaki projektni cilj čini dostižnim kroz strukturirani pristup DMAIC (engl. *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) procesa koji će u kasnijim poglavljima biti detaljno prikazan. Six Sigma metodologija naglasak ima na željama kupaca, a važno je da se prilikom njenog implementiranja u radnu organizaciju uključe svi zaposlenici kako bi se postigao njen najveći mogući učinak.

Six Sigma metodologija usmjerena je ponajviše na kvalitetu proizvoda, odnosno minimiziranje i uklanjanje grešaka, dok se vitki (engl. *lean*) alati fokusiraju na poboljšavanje i ubrzanje proizvodnih procesa. Povezivanje Six Sigme s vitkim alatima u takozvanu Lean Six Sigma stoga daje kombinaciju koja donosi najbolje rezultate u poboljšanju poslovanja organizacija. Na taj način Lean Six Sigma uz pomoć Six Sigme rad čini boljim te proizvedene proizvode kvalitetnijim, a prema načelima vitkih alata taj se rad provodi bržim i učinkovitijim proizvodnim procesima [13].

3.1. Podjela uloga prema Lean Six Sigma (LSS) metodologiji

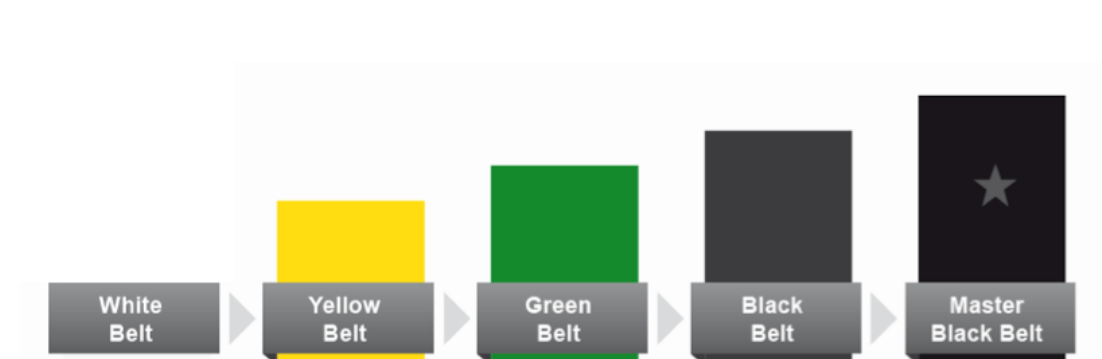
1990. godine Motorola je u zajedničkoj suradnji s poduzećima IBM, Texas Instruments i Xerox razvila koncept takozvanih „crnih pojaseva“, odnosno stručnjaka u primjenjivanju statističkih metoda koji će predstavljati predvodnike provedbe Lean Six Sigma (LSS) metodologije u poduzećima koja se odluče na taj pristup kontinuiranog poboljšanja [14].

Time je uvedena podjela uloga prilikom provedbe LSS projekata kako bi se u svakom trenutku jasno znalo tko preuzima koje odgovornosti unutar projektnog tima.

Podjela uloga vrši se na [15]:

- Bijeli pojas (engl. *White Belt*)
- Žuti pojas (engl. *Yellow Belt*)

- Zeleni pojas (engl. *Green Belt*)
- Crni pojas (engl. *Black Belt*)
- Majstor crnog pojasa (engl. *Master Black Belt*).



Slika 6. Uloge prema Lean Six Sigma metodologiji [16]

Bijeli pojas (engl. *White Belt*)

Bijelim pojasevima smatraju se zaposlenici koji nisu prošli nikakvu dodatnu obuku zasnovanu na LSS metodologiji, no upućeni su u trenutne projekte koji se provode u radnoj organizaciji te su svjesni da i sami svojim radom doprinose u uspješnoj provedbi projekata.

Žuti pojas (engl. *Yellow Belt*)

Zaposlenici sa žutim pojasom prošli su osnovnu obuku o metodologiji poboljšanja kvalitete te su izravno uključeni u LSS projekte unutar radne organizacije. Oni uz svoje uobičajene radne obaveze mogu pružiti podršku Zelenim i Crnim pojasevima.

Zeleni pojas (engl. *Green Belt*)

Zeleni pojas odnosi se na zaposlenike koji su prošli ozbiljnu obuku u području LSS metodologije. Njihov primarni fokus na poslu nije na provedbi LSS projekata. Oni obavljaju svoje svakodnevne radne obaveze u okviru pozicije koju imaju unutar poduzeća, no ujedno usko surađuju s Crnim pojasevima te im u dogovorenim vremenskim rokovima dostavljaju kvalitetne analize podataka koje će poslužiti kao temeljni izvor informacija u provedbi projekata.

Crni pojas (engl. *Black Belt*)

Crni pojas je voditelj tima prilikom provedbe LSS projekata i u poduzeću se tim poslom bavi s punim radnim vremenom. Zadužen je za formiranje i vođenje svojih timova te je prethodno morao proći vrhunsku obuku kako bi imao napredna znanja o statističkim i financijskim analizama, upravljanju projektima i LSS alatima. Njegova obuka trajala je minimalno 160 sati te uz tehničke vještine mora posjedovati leaderske i komunikacijske vještine.

Tijekom provedbe projekata, zaposlenik s crnim pojasom savjetuje Zelene i Žute pojaseve te ujedno radi na njihovoj kontinuiranoj edukaciji u područjima poboljšanja kvalitete. Uz to, zadužen je za komunikaciju sa sponzorima i rukovoditeljima uključenima u projekt čime na sebe preuzima odgovornost uspješnog ostvarenja ciljeva projekta.

U ranije spomenutoj kompaniji General Electric, koja je provela izrazito uspješnu implementaciju LSS metodologije, svi menadžeri se obučavaju minimalno do razine Crnog pojasa.

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

Kao i kod Crnog pojasa, pozicija Majstorskog crnog pojasa također se izvršava u punom radnom vremenu. Zaposlenik s certifikatom Majstorskog crnog pojasa stručnjak je u području implementacije LSS projekata na razini organizacije, sa značajnim iskustvom u radu na prijašnjim projektima.

Obično nije izravno uključen u projektne timove, već ima ulogu savjetnika Crnih pojaseva i rukovodstva radne organizacije. S obzirom da ima najviši stupanj znanja i iskustva prema hijerarhiji o ulogama u LSS projektnoj metodologiji, nositelj Majstorskog crnog pojasa kvalificiran je za školovanje i mentoriranje svih ostalih Pojaseva.

Nazivlje uloga u LSS projektnoj metodologiji dolazi od istočnjačkih borilačkih vještina, no s obzirom na timski pristup kojim se vode najveća poduzeća, s vremenom su neka od njih počela odstupati od prvotno osmišljenog nazivlja te su se priklonila manje nasilnom i poslovno prihvatljivijom terminologijom [15][17].

3.2. Vrste gubitaka prema Lean Six Sigma metodologiji

Prema Lean Six Sigma metodologiji, gubici u radnoj organizaciji lako su pamtljivi po akronimu TIMWOOD, a dijele se na [15][18]:

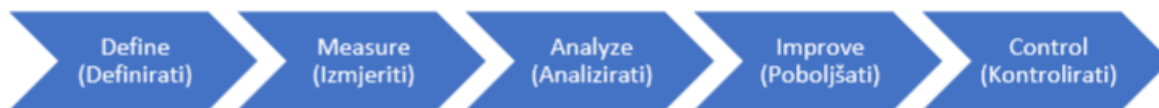
- T (engl. *Transportation*) – Transport – Svaki prijevoz bilo kojih proizvodnih materijala ili gotovih proizvoda između različitih radnih mjesta unutar radne organizacije.
- I (engl. *Inventory*) – Zalihe – Svaki višak proizvodnih materijala, dijelova u procesu ili gotovih proizvoda.
- M (engl. *Motion*) – Pokreti – Svaki nepotrebn pokret zaposlenika prilikom montaže dijelova nekog proizvoda i svako nepotrebno kretanje prilikom traženja dijelova ili drugih zaposlenika.
- W (engl. *Waiting*) – Čekanje – Svako vrijeme potrošeno na čekanje ljudi, alata, sirovina, dijelova ili popravka strojeva.
- O (engl. *Overproduction*) – Prekomjerna proizvodnja – Svaki proizvedeni proizvod koji nema ugovorenog naručitelja (kupca).
- O (engl. *Overprocessing*) – Prekomjerna obrada – Svaka aktivnost kojom se premašuje očekivana kvaliteta i funkcionalnost dobivenog proizvoda.
- D (engl. *Defects*) – Nedostaci – Svaki popravak, dodatna prerada, ponovno pakiranje te sve aktivnosti koje nastaju nečijim neispravnim obavljanjem posla.

Osim navedenih sedam tipova gubitaka, kao osmi se često navodi i neiskorišteni intelekt zaposlenika. Uz to, treba voditi računa i o gubiticima koji se možda rjeđe spominju u literaturi i poslovnoj praksi, no njihov utjecaj nije zanemariv [15][18]:

- rasipanje energije
- zagađenje
- neiskorišteni prostor
- neispravan inventar
- nedostatak integriteta podataka.

3.3. DMAIC proces

Kao i cijela Six Sigma metodologija, DMAIC proces je također razvijen i prvi put korišten od strane poduzeća Motorola. DMAIC proces čini osnovu svakog projekta vođenog Six Sigma metodologijom.



Slika 7. DMAIC proces

DMAIC proces sastavljen je od pet faza kako je prikazano slikom, a nakon svake pojedine faze slijedi evaluacija postignutih rezultata od strane projektnog tima predvođenog od strane zaposlenika s certifikatom Crnog pojasa. U evaluaciji sudjeluju i sponzori projekta te se odlučuje o tome je li projekt spreman za prelazak u iduću fazu DMAIC procesa [19].

Pet faza DMAIC procesa i njihovi osnovni ciljevi glase [15]:

- D (engl. *Define*) – definiranje ciljeva aktivnosti poboljšanja
- M (engl. *Measure*) – mjerenje postojećeg sustava ili procesa
- A (engl. *Analyze*) – analiziranje sustava u svrhu identifikacije razlika između trenutne izvedbe sustava ili procesa i željenog cilja
- I (engl. *Improve*) – poboljšavanje sustava
- C (engl. *Control*) – kontroliranje novog sustava.

U narednim poglavljima bit će detaljnije pojašnjena i opisana svaka pojedina faza DMAIC procesa.

3.3.1. Faza definiranja (engl. *Define phase*)

Konačni uspjeh svakog projekta ovisi o trudu i vremenu uloženom u njegovo inicijalno planiranje. Stoga se planiranjem i konkretnim definiranjem započetog projekta bavi prva faza prema DMAIC procesu, faza definiranja.

Fazu definiranja čine:

- 1) izrada projektne povelje
- 2) izrada poopćenog procesnog dijagrama (SIPOC dijagrama)
- 3) kreiranje Yamazumijevog dijagrama
- 4) mapiranje procesa i dijagram tijeka.

Te će aktivnosti biti detaljnije pojašnjene u nastavku ovog poglavlja.

3.3.1.1. Projektna povelja

Projektna povelja sastoji se od nekoliko elemenata koji zajedno daju osnovne informacije o projektu. Tijekom provedbe projekta, projektna povelja služi kao komunikacijski alat unutar radne organizacije, ona sažeto i jasno prikazuje planirane ciljeve i ishode projekta te tko u njemu sudjeluje.

Projektna povelja

Definicija problema	Ciljevi projekta	Opseg projekta	Projektni tim Sponzor Voditelj projekta Tim
Ključni pokazatelji uspješnosti (KPI)	Isporučeni materijali	Iskoristive mogućnosti	

Define	Measure	Analyze	Improve	Control	Verzija: 1.0
1/2021	1/2021	2/2021	3/2021	5/2021	Datum: 1.1.2021.

Slika 8. Predložak projektne povelje

Pojedini elementi gore prikazanog predloška na slici 8 za projektnu povelju opisani su na način [20]:

- Definiciju problema najbolje je odrediti uzimajući u obzir dosadašnje performanse i željeni smjer promjene te identifikacijom lokacije provođenja projekta.
- Ciljevi projekta doprinose projektnom timu i radnoj organizaciji u dobivanju jasne vizije što se projektom želi postići.
- Opseg projekta obuhvaća dogovorenu lokaciju projekta te inženjerske alate koji se planiraju koristiti.
- Ključni pokazatelji uspješnosti su kvantificirane mjere za mjerenje poslovnih ciljeva, tj. u ovom slučaju za mjerenje uspješnosti promatranog projekta.
- Isporučeni materijali predstavljaju svu dokumentaciju koja će se „isporučiti“ po završetku odrađenog projekta.
- Iskoristive mogućnosti su podijeljene na dvije skupine, skupinu ulazno iskoristivih mogućnosti te skupinu izlazno iskoristivih mogućnosti. Skupinu ulazno iskoristivih mogućnosti čine općenita baza podataka dostupna unutar radne organizacije te svi podaci, informacije i znanja stečena provedbom ranijih projekata. Skupinu izlazno iskoristivih mogućnosti čine svi podaci, informacije i znanja stečena provedbom trenutnog projekta te će oni stvarati bazu za buduće projekte.
- Projektni tim čine sponzor projekta (najčešće poduzeće), voditelj projekta (Lean Six Sigma stručnjak) te ostali odabrani članovi tima koji će biti uključeni u zajednički rad na projektu.
- Vremenska traka služi za definiranje vremenskih rokova u kojima se planiraju provesti pojedine faze projekta prema DMAIC procesu.

3.3.1.2. Poopćeni procesni dijagram – SIPOC dijagram

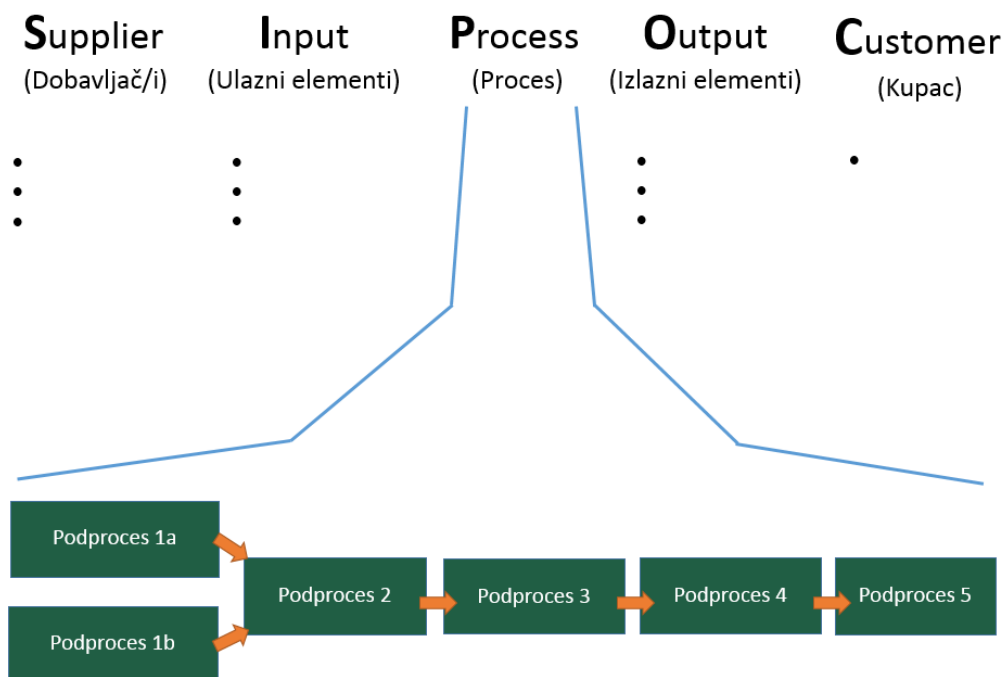
Sljedeći korak faze definiranja čini izrada poopćenog procesnog dijagrama čiji originalni naziv potječe od akronima SIPOC:

- S (engl. *Supplier*) – dobavljač
- I (engl. *Input*) – ulazni elementi
- P (engl. *Process*) – proces
- O (engl. *Output*) – izlazni elementi
- C (engl. *Customer*) – kupac.



Slika 9. Vizualni pregled procesa

SIPOC dijagram koristi se za dobivanje inicijalnog vizualnog pregleda projekta što je prikazano slikom 9 kako bi se lakše identificiralo područje rada.



Slika 10. Poopćeni procesni dijagram – SIPOC dijagram

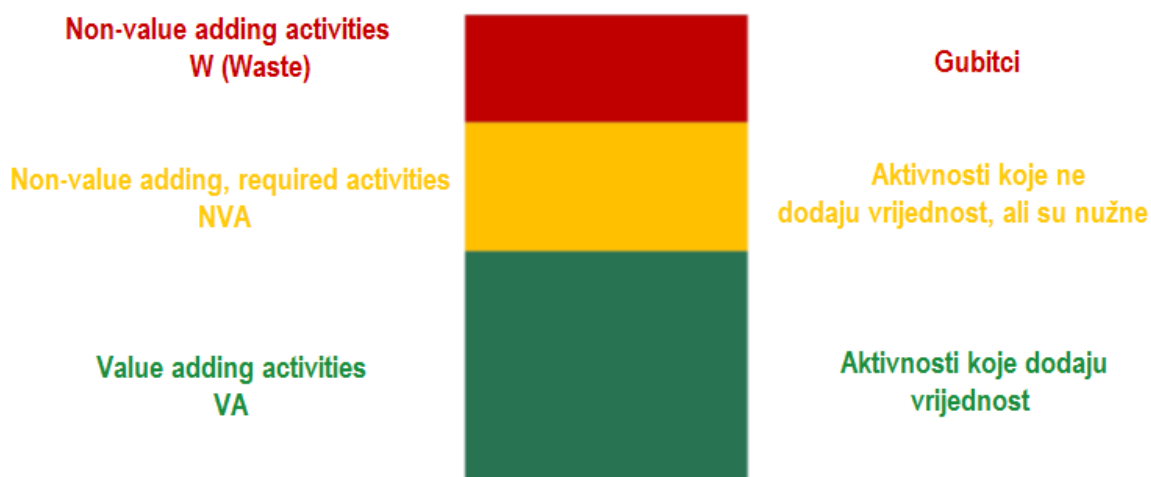
Proces stvaranja proizvoda ili usluge se kao temeljni dio dijagrama dijeli na 4-7 osnovnih procesnih koraka, čime se zadržava preglednost kako je vidljivo na slici 10 i olakšava objašnjavanje započetog projekta svim sudionicima projektnog tima.

Ulazni elementi procesa nabavljaju se od pojedinih dobavljača, pri čemu dobavljači mogu biti vanjski ukoliko se radi o drugim poduzećima od kojih se naručuju sirovine, dijelovi ili usluge. S druge strane, može se raditi o internim dobavljačima procesa ukoliko se sirovine, dijelovi ili usluge nabavljaju unutar vlastitog poduzeća.

Izlazni elementi procesa također mogu biti usmjereni prema internom korisniku unutar poduzeća kao „kupcu“ poluproizvoda ili prema krajnjem kupcu kao korisniku gotovog proizvoda.

3.3.1.3. Yamazumi dijagram

Kako bi se postigla najveća moguća iskoristivost proizvodnih procesa, potrebno je precizno odrediti koje aktivnosti tijekom njihovog izvođenja dodaju vrijednost krajnjem proizvodu, a koje aktivnosti stvaraju nepotrebne gubitke koje je potrebno eliminirati.



Slika 11. Yamazumi dijagram i vrednovanje procesnih aktivnosti

Najbolji pregled vremenske iskorištenosti nekog proizvodnog procesa pruža Yamazumi dijagram prikazan slikom 11.

Prema Yamazumi dijagramu aktivnosti unutar svakog proizvodnog procesa mogu se podijeliti na tri skupine:

- 1) aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu – gubitci
- 2) aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu, ali su neizbježne za daljnje odvijanje procesa
- 3) aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu.

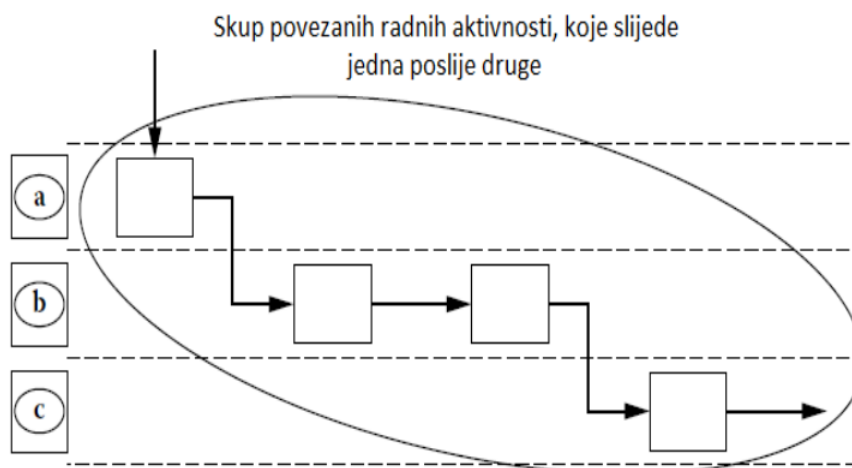


Slika 12. Optimiranje procesa pomoću Yamazumi dijagrama

Aktivnosti koje stvaraju vremenske gubitke zatim je potrebno u potpunosti eliminirati iz procesa kako je prikazano slikom 12. One aktivnosti koje ne dodaju vrijednost krajnjem proizvodu, ali su nužne za daljnje odvijanje proizvodnog procesa potrebno je reducirati koliko god je to moguće. Aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu poželjno je optimizirati kako bi se i njihovo trajanje smanjilo i time cjelokupni proces doveo do razine najbolje moguće vremenske iskoristivosti.

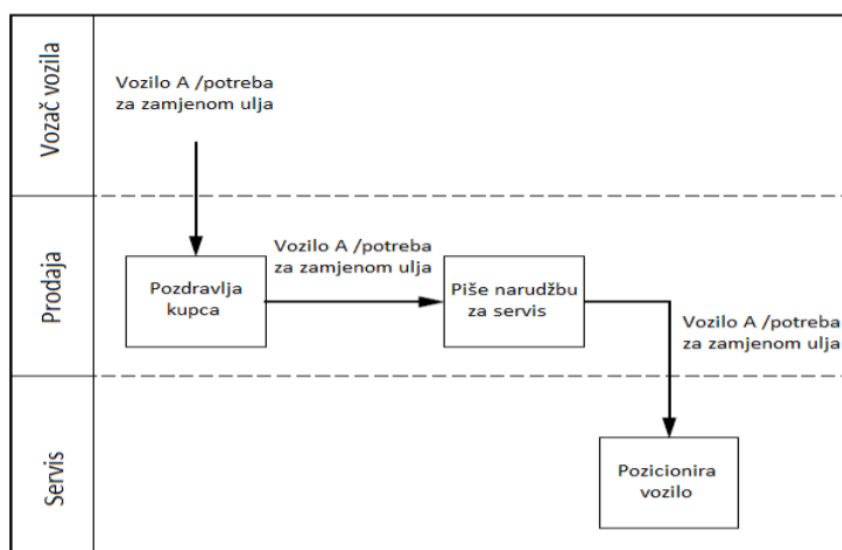
3.3.1.4. Mapiranje procesa i dijagram toka

Stvaranje dijagrama tijekom bit će znatno olakšano prethodnim mapiranjem aktivnosti procesa. Mapiranje se vrši podjelom aktivnosti procesa u smislene cjeline te njihovom dodjelom odgovarajućim izvođačima istih. Izvođači aktivnosti mogu biti pojedini zaposlenici u proizvodnom pogonu ili u uredima poduzeća, ali to mogu biti i cijeli odjeli ili timovi koji su zaduženi za obavljanje određenog zadatka.



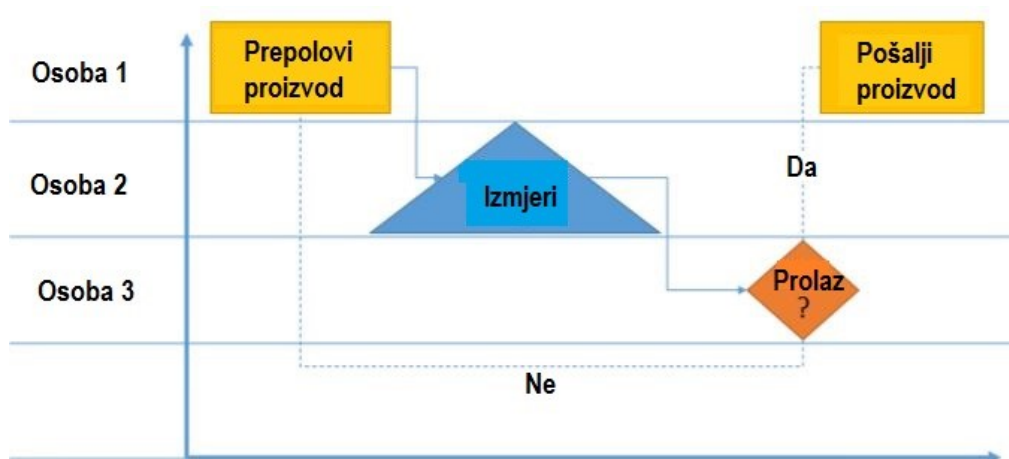
Slika 13. Serijski uzorak toka rada [21]

Serijski tok rada je najčešći kod ovakvog tipa dijagrama, što znači da se radne aktivnosti odvijaju jedna nakon druge, kako je prikazano gornjom slikom 13. Druga mogućnost je paralelni tok rada kod kojeg više zaposlenika ili timova različite aktivnosti obavlja istovremeno [21].



Slika 14. Primjer mapiranog procesa [21]

Slikom 14 dan je praktični primjer serijskog toka rada. Nakon mapiranja aktivnosti procesa, potrebno je razlučiti karakteristike svake pojedine aktivnosti, odnosno definirati u koji tip aktivnosti se one mogu svrstati. Takvom kategorizacijom dobiva se na preglednosti i pojednostavljuje se daljnja analiza promatranog procesa.



Slika 15. Primjer dijagrama toka [20]

Na slici 15 prikazani su različiti elementi dijagrama toka, a svaki element predstavlja određenu vrstu aktivnosti koja je dio promatranog proizvodnog procesa. Kao što je to ranije navedeno u prethodnom potpoglavlju „Yamazumi dijagram“, svaki proces sastoji se od aktivnosti koje pridonose vrijednosti proizvoda i aktivnosti koje to ne čine.



Slika 16. Simboli i pripadajuće aktivnosti dijagrama toka [20]

Na prethodnim slikama aktivnosti uokvirene pravokutnikom pripadaju skupini aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu i kupac ih je spreman adekvatno platiti.

S druge strane, preostalim geometrijskim oblicima osim pravokutnika označene su aktivnosti koje ne stvaraju vrijednost i kupca stoga ne zanimaju.

Kao što je već prikazano slikom 12 i objašnjeno u potpoglavlju „Yamazumi dijagram“, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost je potrebno eliminirati, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost ali su neophodne za nastavak proizvodnog procesa potrebno je reducirati, a aktivnosti koje dodaju vrijednost poželjno je optimizirati.

3.3.2. Faza mjerenja (engl. *Measure phase*)

Iduća faza DMAIC procesa je faza mjerenja u kojoj se koristi skup alata kojima će se dobiti ključni podaci za nastavak rada u sklopu Lean Six Sigma projekta.

Analitički alati koji se pri tome koriste su:

- 1) Pareto dijagram
- 2) Boxplot dijagram (*Pravokutni/kutijasti diagram*)
- 3) Analiza sposobnosti procesa (engl. *Process Capability Analysis – PCA*).

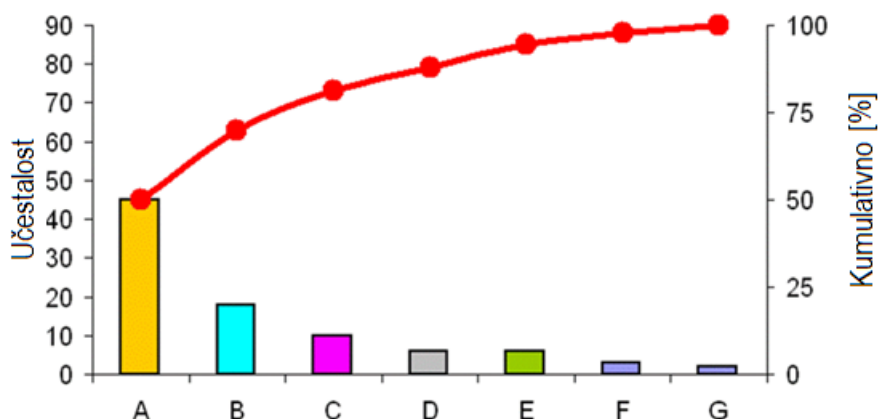
3.3.2.1. Pareto dijagram

1896. godine talijanski ekonomist i sociolog Vilfredo Pareto, poznat po primjeni matematičkih metoda u okviru ekonomske analize, ustanovio je kako oko 20% stanovnika Italije posjeduje 80% imovine te zemlje što je manjinu talijanske populacije činilo vrlo bogatom.

Po istom 80/20 principu, takozvanom Pareto principu, može se ustanoviti kako primjerice 20% uzroka uzrokuje 80% svih problema, 20% aktivnosti koje čovjek čini donosi mu 80% njegovih uspjeha, no isto tako istih 20% kriminalaca diljem svijeta vrši 80% kriminalnih aktivnosti i kaznenih prekršaja.

Kada se taj princip primijeni na poslovno okruženje, uobičajeno je da 20% kupaca donosi 80% prihoda nekom poduzeću, 20% djelatnika prodajnog odjela poduzeća generirat će 80% novougovorenih poslova te će 20% proizvoda koje neko poduzeće proizvede imati financijski udio od 80% ukupnog prometa.

Kod Pareto principa ne mora se striktno uvijek raditi o omjeru 80/20, taj se omjer može kretati u brojkama između 70/30 i 90/10, no važno je istaknuti kako će u pravilu manjinski udio proizvoda ili aktivnosti generirati veću vrijednost te će grafički prikaz pomoću Pareto dijagrama dati pojednostavljeni prikaz na što je potrebno usmjeriti pažnju [22].

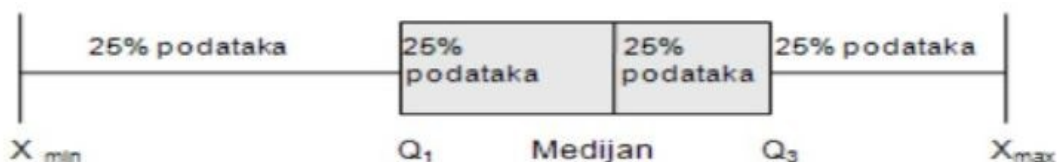


Slika 17. Primjer Pareto dijagrama [23]

Strukovna definicija opisuje Pareto dijagram prikazan na slici 17 kao grafički prikaz učestalosti pojavljivanja uzroka koji pokazuje koliko je rezultata generirao svaki navedeni uzrok [24].

3.3.2.2. *Boxplot dijagram (Pravokutni/kutijasti dijagram)*

Boxplot dijagram koristan je kada je dostupna relativno mala količina kvantitativnih podataka, pogotovo ako je potrebno usporediti izlazne vrijednosti dvaju procesa koji stvaraju istu karakteristiku ili za praćenje poboljšanja unutar jednog procesa.



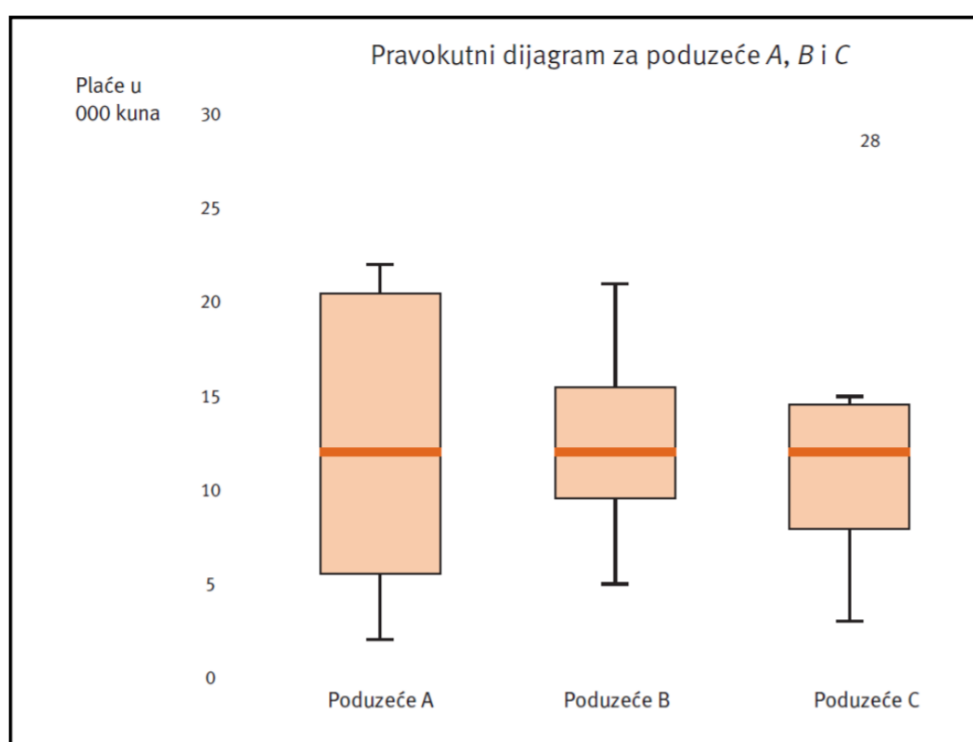
Slika 18. Karakteristike boxplot dijagrama [25]

Boxplot dijagram prikazan slikom 18 koristi pet karakterističnih vrijednosti niza:

- 1) najmanja vrijednost niza (X_{min})
- 2) prvi kvartil (Q_1)
- 3) medijan
- 4) treći kvartil (Q_3)
- 5) najveća vrijednost niza (X_{max})

Kao što je prikazano slikom gore, svaki od četiri međuprostora između prethodno navedenih pet karakterističnih vrijednosti niza, predstavlja četvrtinu ukupno dostupnih podataka pri izradi dijagrama, tzv. kvartila.

Medijan je broj koji se nalazi u sredini skupa brojeva što znači da u sortiranom nizu podataka 50% elemenata ima vrijednost manju ili jednaku medijanu te da 50% elemenata ima vrijednost veću ili jednaku medijanu [25].



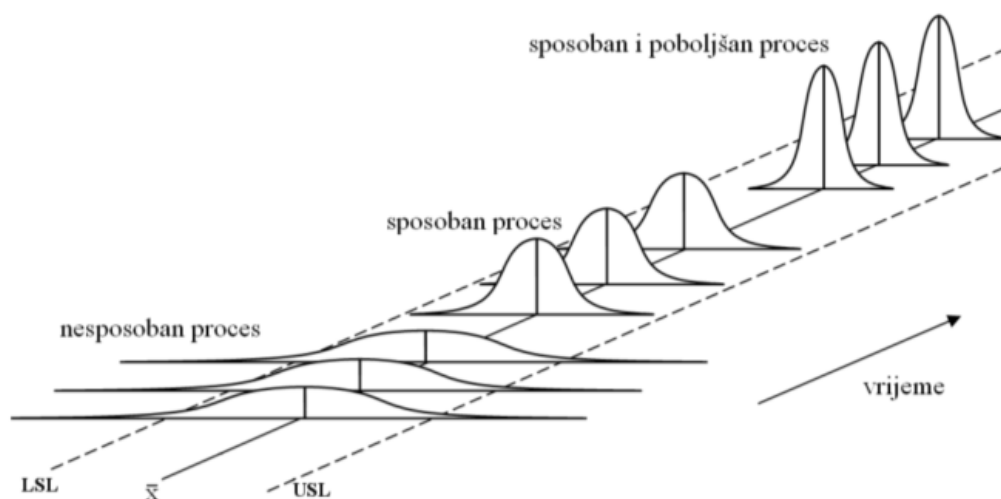
Slika 19. Primjer upotrebe boxplot dijagrama [25]

Kao što je vidljivo iz slika 18 i 19, boxplot dijagram sastoji se od pravokutnika koji predstavlja polovicu svih dostupnih podataka te se unutar njega nalazi medijan, dok su druge dvije četvrtine podataka obuhvaćene linijama ispod i iznad pravokutnika, tzv. zaliscima.

3.3.2.3. Analiza sposobnosti procesa (engl. Process Capability Analysis – PCA)

Sposobnost procesa se procjenjuje računanjem tzv. indeksa sposobnosti procesa C_p .

Proces je sposoban ukoliko je raspon zahtjeva veći od raspona procesa ili jednak rasponu procesa. To je ujedno i temeljni uvjet sposobnosti procesa. Pri tom je potrebno razjasniti pojmove raspon zahtjeva i raspon procesa [27].



Slika 20. Postizanje sposobnog procesa njegovim poboljšavanjem [28]

Raspon zahtjeva, odnosno tolerancijsko područje T , je područje između gornje (USL) i donje granice zahtjeva (LSL) unutar kojih bi se trebale nalaziti željene vrijednosti indeksa sposobnosti procesa, odnosno

$$T = USL - LSL, \quad (1)$$

pri čemu su:

T – tolerancijsko područje (raspon zahtjeva)

USL - gornja granica zahtjeva (engl. *Upper Specification Limit*)

LSL - donja granica zahtjeva (engl. *Lower Specification Limit*).

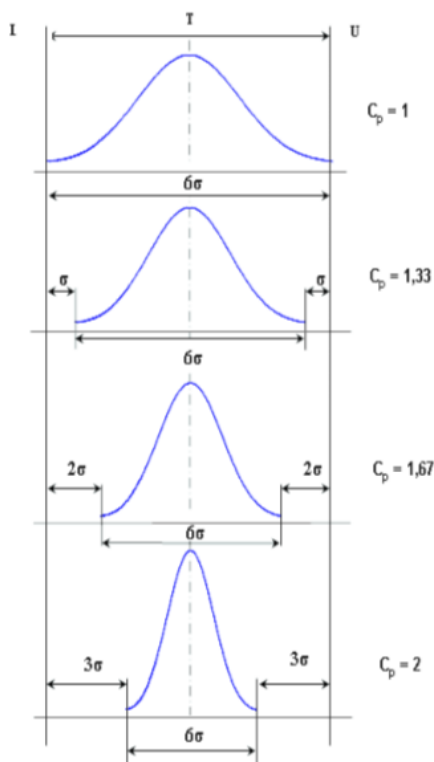
Raspon procesa podrazumijeva područje unutar ± 3 standardna odstupanja ($6 \cdot \sigma$) u odnosu na sredinu procesa što čini 99,73 % površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces. Temeljni uvjet sposobnosti procesa je stoga:

$$T \geq 6 \cdot \sigma. \quad (2)$$

Ocjena sposobnosti procesa odgovara na pitanje treba li poboljšati proces.

Indeks sposobnosti procesa C_p računa se kao odnos prethodno spomenutog tolerancijskog područja (rasponu zahtjeva) prema području standardnog odstupanja 6σ (rasponu procesa):

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad [27] \quad (3)$$



Slika 21. Različite vrijednosti indeksa sposobnosti procesa C_p [27]

Slika 21 prikazuje različite vrijednosti indeksa sposobnosti procesa C_p prema normalno distribuiranom procesu.

Tablica 3. Sposobnost procesa [27]

C_p	Sposobnost procesa
> 1,33	Proces može biti sposoban
1,0 do 1,33	Moguća sposobnost je upitna, a proces treba i dalje nadzirati
< 1,00	Vrlo upitna sposobnost procesa

Različite tvrtke usvajaju za svoje procese različite kritične vrijednosti C_p . Pritom se brojni japanski proizvođači orijentiraju se na vrijednosti $C_p = 1,33$ što odgovara takvoj situaciji kada interval $\pm 3\sigma$ zauzima 75% od polja dopuštenog odstupanja. Istu vrijednost sposobnosti procesa koristi i tvrtka Ford kao etalon, dok se u tvrtci Renault kao kritična vrijednost sposobnosti procesa koristi $C_p = 1$. Neke tvrtke ovu vrijednost podižu na 1,67, odnosno čak $C_p \geq 2$ [27].

Na kraju prve faze DMAIC procesa dostupno je nekoliko važnih informacija o započetom projektu:

- Kvalitetno definiran projekt kroz projektnu povelju.
- Jasan prikaz procesa putem poopćenog procesnog dijagrama (SIPOC dijagrama).
- Trenutna izvedba procesa utemeljena istraživačkom analizom podataka.

Iduća faza koja se zatim provodi je faza analiziranja.

3.3.3. Faza analiziranja (engl. Analyze phase)

Nakon dobivenih svih potrebnih podataka u fazi mjerenja, slijedi faza analiziranja koja se sastoji od sastavljanja Ishikawinog dijagrama (dijagram uzrok – posljedica) i analize potencijalnih problema (engl. *Potential Problem Analysis - PPA*).

3.3.3.1. Dijagram uzrok – posljedica (Ishikawa dijagram)

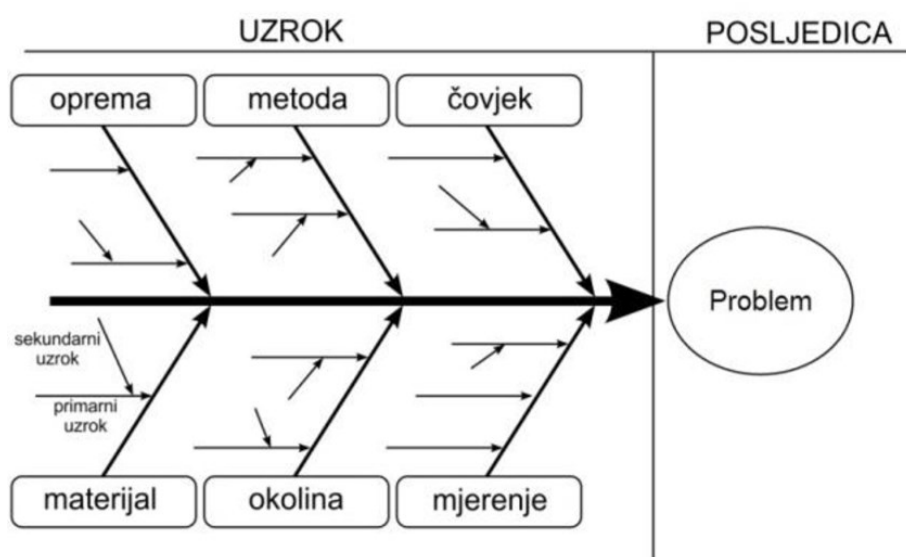
Dijagram uzrok – posljedica razvijen je od strane japanskog znanstvenika i profesora Kaorua Ishikawe na Sveučilištu u Tokiju 1943. godine po kojem je dobio i svoj međunarodni naziv Ishikawa dijagram. Popularno se još naziva dijagramom riblje kosti zbog svog karakterističnog izgleda, a zanimljivost je da je od strane njegovog utemeljitelja Ishikawe prvi put primijenjen u japanskom brodogradilištu Kawasaki.

Ishikawa dijagram je alat za identifikaciju i sortiranje uzroka specifičnih problema te služi kao pregledan grafički prikaz odnosa između promatranog problema i svih faktora koji utječu na njegovo nastajanje. Od strane profesora Ishikawe ustanovljeno je da se svi mogući faktori koji mogu utjecati na nastajanje problema u proizvodnom procesu mogu svrstati u 6 skupina.

Ta metoda nazvana je 6M prema engleskim nazivima definiranih skupina mogućih uzročnika problema [22]:

- 1) oprema (engl. *Machine*)
- 2) metoda (engl. *Method*)
- 3) materijal (engl. *Material*)
- 4) čovjek (engl. *Man power, Mind power*)
- 5) mjerenja (engl. *Measurement*)
- 6) okolina (engl. *Milieu / Mother Nature*).

Kao sedma skupina mogućih uzročnika problema često se spominje i novac (engl. *Money*).



Slika 22. Predložak Ishikawinog dijagrama [22]

Zajedničkom olujom mozgova (engl. *brainstorming*) projektnog tima navode se svi potencijalni uzroci detektiranog problema razvrstani prema ranije navedenim skupinama. Navedeni potencijalni uzroci problema spadaju u primarne uzroke, a kako bi se otkrila srž problema često se korištenjem iterativne tehnike „5 zašto“ (engl. *5 Why's*) primarni uzroci dodatno razgranaju još i na sekundarne uzroke.

„5 zašto“ (engl. *5 Why's*) tehnika sastoji se od 5 pitanja *gdje, što, kad, tko, zašto* (engl. *Where, What, When, Who, Why*), a zasebnim odgovaranjem na svako od njih pokušava se doći do korijena uzroka nastalog problema.

Nakon završetka nabiranja svih mogućih uzroka problema, dobivena je kvalitetna preglednost pomoću koje je moguće odrediti nekoliko uzroka koji se čine najznačajnijim i na koje će biti usmjeren fokus prilikom daljnje analize.

Potrebno je napomenuti kako Ishikawa dijagram zasebno nije dovoljan za rješavanje problema, već se taj dijagram kreira radi upućivanja na osnovne uzroke i uzročno - posljedične veze problema [22].

3.3.3.2. Analiza potencijalnih problema (engl. Potential Problem Analysis - PPA)

Primjenom Ishikawa dijagrama detektirani su mogući uzroci problema prilikom provedbe određenih aktivnosti u proizvodnom procesu. Nastavno na to prelazi se na analiziranje potencijalnih problema primjenom odgovarajuće tablice.

Tablica 4. Predložak tablice analize potencijalnih problema

Aktivnost	Potencijalni problem	Posljedice	Mogući uzroci	Stupanj ozbiljnosti	Učestalost
A1	PP1	P1	U1	8	6
A2	PP2	P2	U2	9	5
A3	PP3	P3	...	6	8
A4	PP4	5	1
A5	3	7

Oslanjajući se na rezultate ranije izvršene istraživačke analize podataka potrebno je odrediti stupanj ozbiljnosti i učestalost svakog pojedinog problema. Ukoliko neki podaci za taj postupak nedostaju ili su nepotpuni, preporučuje se ponovljeno korištenje nekog od prikladnih alata istraživačke analize podataka. Time se osigurava pravilnost i vjerodostojnost daljnjeg nastavka provedbe DMAIC procesa.

Za ispunjavanje stupaca „Stupanj ozbiljnosti“ i „Učestalost“ u tablici analize potencijalnih problema (tablica 4) potrebno je odrediti određenu skalu čije se brojčane vrijednosti mogu kretati primjerice od 1 do 9 za raspon od vrlo niske razine stupnja ozbiljnosti/učestalosti do vrlo visoke razine stupnja ozbiljnosti/učestalosti određenog problema kao što je prikazano tablicom 5 ispod.

Tablica 5. Stupanj ozbiljnosti/učestalosti problema

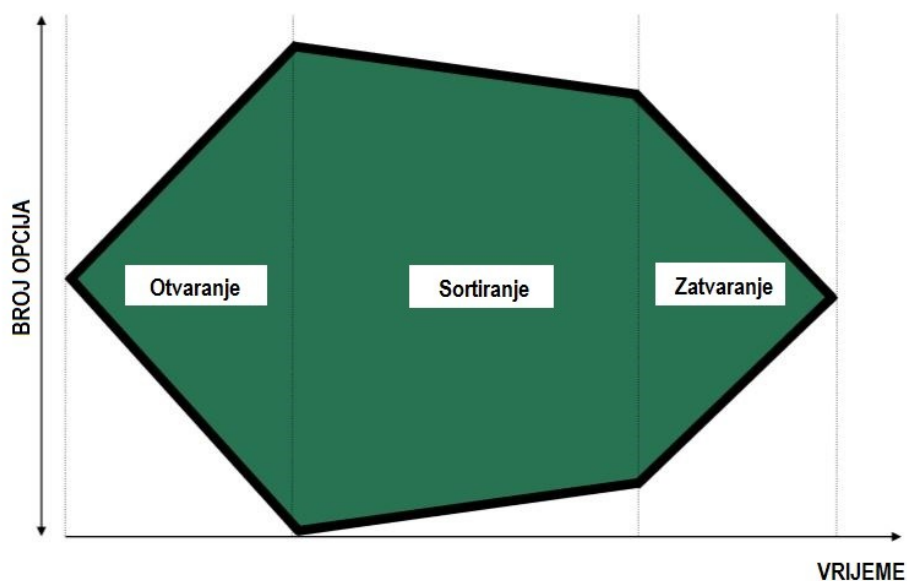
Stupanj ozbiljnosti/učestalosti	Skala vrijednosti
Vrlo visok	9
Visok	7
Srednji	5
Nizak	3
Vrlo nizak	1

Popunjavanjem tablice analize potencijalnih problema, odnosno definiranjem važnosti svakog od navedenih problema, izvršena je priprema za fazu poboljšavanja slijedeći DMAIC proces. Pritom se projektni tim i sponzor projekta moraju usuglasiti prije nego što se započne s daljnjim koracima, tj. razradom i implementacijom poboljšanja.

3.3.4. Faza poboljšavanja (engl. Improve phase)

3.3.4.1. Proces kreativnog dijaloga

Faza poboljšavanja započinje procesom kreativnog dijaloga projektnog tima kako bi se iznijele sve ideje o radnjama koje bi se u skladu s prethodnim mjerenjima i analizama mogle poduzeti s ciljem unaprjeđenja procesa.



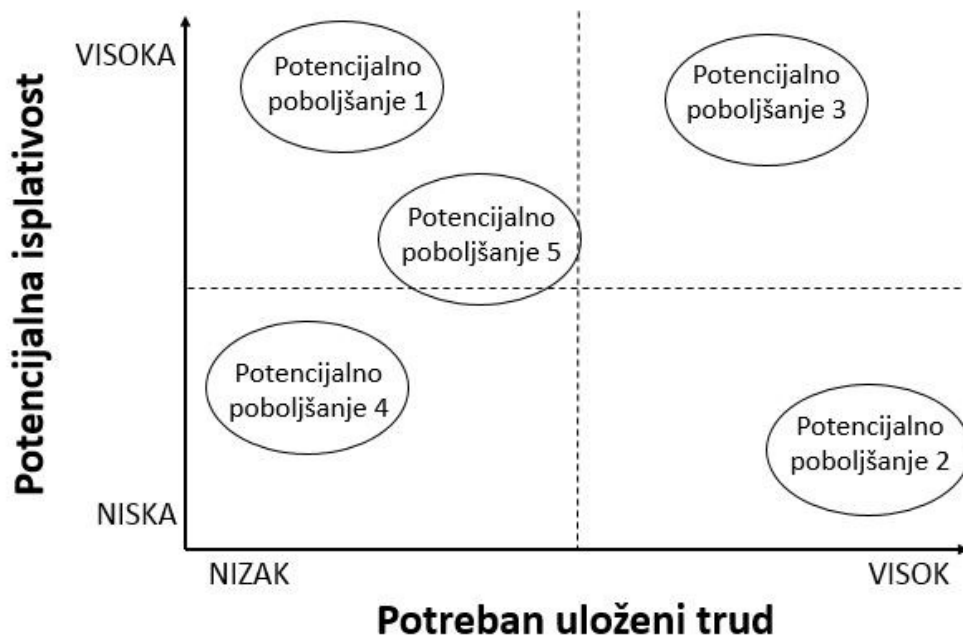
Slika 23. Proces kreativnog dijaloga [20]

Proces kreativnog dijaloga odvija se u tri faze kako je prikazano slikom 23:

- 1) Otvaranje kreativnog dijaloga – svi članovi projektnog tima iznose svoje ideje kojima bi se mogao riješiti promatrani problem.
- 2) Sortiranje predloženih opcija – predložene ideje dijele se u skupine opcija koje imaju zajedničke karakteristike te se otklanja manji dio ideja za koje se smatra da tematski odstupaju od trenutno promatranog problema.
- 3) Zatvaranje kreativnog dijaloga – u zajedničkoj raspravi projektnog tima definira se koje su predložene opcije najbolja rješenja i sužava se fokus na njih.

3.3.4.2. Matrica isplativosti

Za moguća rješenja problema koja su procijenjena kao najkvalitetnija potrebno je zatim definirati potencijalnu isplativost njihove implementacije što je najbolje predočiti matricom isplativosti.



Slika 24. Matrica isplativosti

Primjena matrice isplativosti utemeljena je na podatkovno i analitički potkrijepljenoj procjeni projektnog tima koliki je omjer potencijalne isplativosti naspram uloženog truda za provedbu određenog poboljšanja kako je prikazano slikom 24.

Potencijalnu isplativost moguće je mjeriti u povećanim prihodima, smanjenim troškovima i smanjenim vremenima ciklusa proizvodnih procesa.

Uloženi trud kojeg je potrebno uložiti za implementaciju nekog poboljšanja mjerljiv je u resursima poput uloženog vremena, novca i ljudstva.

3.3.4.3. Plan implementacije

Nakon što se pomoću matrice isplativosti došlo do zaključka u kojem se smjeru želi ići po pitanju provedbe poboljšanja procesa, slijedi izrada implementacijskog plana.

Tablica 6. Predložak za plan implementacije

Plan implementacije

Trenutno stanje	
Konačni cilj	
Područje fokusa	

Radnja	Odgovorna osoba	Željena izvedba	Status/Datum

Plan implementacije kao što je vidljivo iz tablice 6 na jasan i pregledan način mora imati definiran cilj projekta, a za početak se u njemu definiraju trenutno stanje stvari i područje fokusa projekta.

Radnje koje će se poduzeti kako bi se postigle željene izvedbe određenih proizvodnih operacija navedene su u sažetom obliku. Zatim se definiraju odgovorne osobe, to mogu biti voditelj projekta, cijeli projektni tim, pojedini zaposlenici u proizvodnom pogonu ili cijeli odjeli unutar radne organizacije. Status pojedine radnje može biti otvorenog tipa ukoliko je započeta radnja za postizanje zadanog cilja još u tijeku ili zatvorenog tipa ako je određena radnja dovršena.

3.3.5. Faza kontroliranja (engl. Control phase)

Posljednji korak DMAIC procesa je faza kontroliranja koja se izvodi u dogovorenom vremenskom roku nakon faze poboljšavanja.

Tablica 7. Predložak za kontrolni plan

Kontrolni plan						Projekt
						Green Belt
Proces	Izvedba	Prethodna izvedba	Željena izvedba	Očekivani financijski utjecaj	Ostvareni profit	
Poduzete radnje poboljšavanja				Odgovorna osoba	Implementirano	Datum

Naspram implementacijskog plana kontrolni plan je proširen za informacije o trenutnoj izvedbi procesa. Postignuta trenutna izvedba procesa uspoređuje se s izvedbom procesa prije provedenog projekta te sa željenom izvedbom koja se planirala postići i je li ona u trenutku kontrole već postignuta ili potencijalno i premašena.

Također se kod kontrolnog plana promatra financijski aspekt projekta, odnosno je li u proteklom vremenskom razdoblju ostvareni profit u skladu s očekivanjima koja su se postavila prilikom započinjanja projekta.

Kada se iteracijom DMAIC procesa postigne zadovoljavajući stupanj izvedbe, važno je stvoriti ili ažurirati odgovarajuću dokumentaciju o projektom promatranom procesu. Standardne radne procedure, tj. način odvijanja procesa, kao i radne upute procesa trebaju biti u skladu s provedenim poboljšanjima kako bi se ubuduće rad odvijao u unaprjeđenom obliku. Pravilno dokumentiranje će se također pozitivno odraziti i na nove zaposlenike, odnosno njihovo uvođenje u posao.

4. PRIMJENA LEAN SIX SIGMA METODOLOGIJE U POBOLJŠANJU PROIZVODNOG PROCESA ODABRANOG PODUZEĆA

Ranije navedeni i opisani vitki i Lean Six Sigma alati u ovom će dijelu rada biti primijenjeni u praksi slijedeći DMAIC proces.

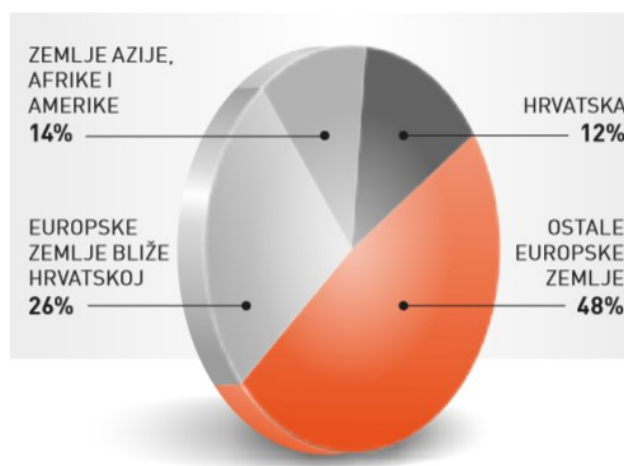
Poduzeće koje je tom prilikom odabrano je Končar – Distributivni i specijalni transformatori d.d. (Končar D&ST).

4.1. Odabrano poduzeće

Končar D&ST slovi za jedno od najpoznatijih i najprepoznatljivijih hrvatskih poduzeća te kao regionalni lider u proizvodnji distributivnih, srednjih energetske i specijalnih transformatora do 160 MVA i 170 kV, slijedi tradiciju dužu od 90 godina u proizvodnji elektrotehničkih proizvoda u glavnom gradu Hrvatske, Zagrebu [29].

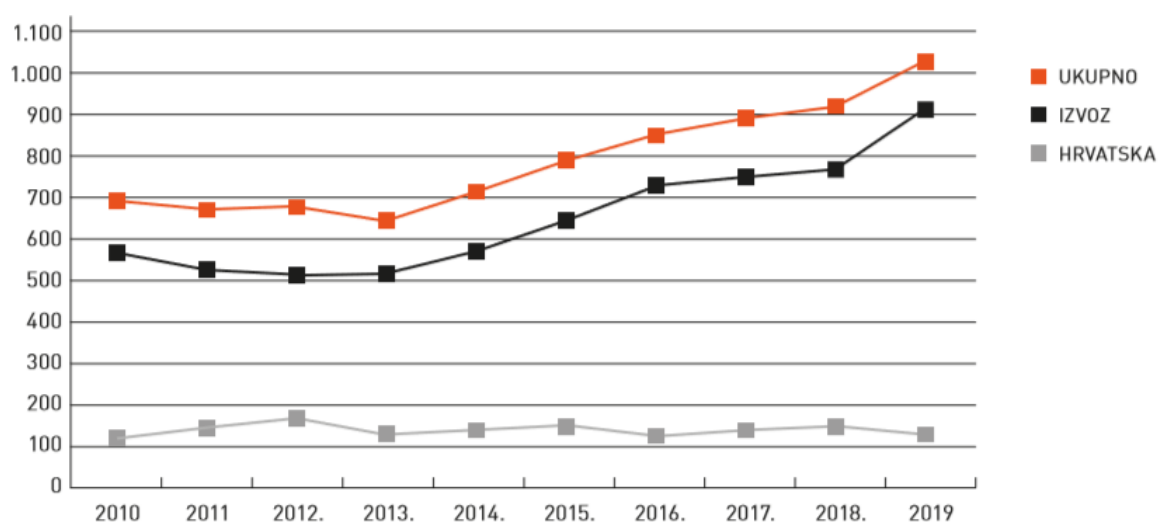
Uz matičnu lokaciju u Zagrebu, na kojoj je zaposleno preko 600 zaposlenika, Končar D&ST je u vlasništvu poduzeća Power Engineering Transformatory (PET) iz Czerwonaka, Poznan, Poljska.

Poljsko poduzeće PET bavi se dizajnom, proizvodnjom, plasmanom i servisiranjem srednje energetske transformatora snage do 63 MVA i napona do 145 kV, a zapošljava šezdesetak djelatnika te proizvodi i prodaje transformatore isključivo na poljskom tržištu [30].



Slika 25. Struktura isporučenog po tržištima 2019. [31]

Kao što prikazuje slika 25, Končar D&ST je izrazito izvozno orijentirano poduzeće koje je prepoznato kao pouzdan poslovni partner u brojnim europskim zemljama i šire.

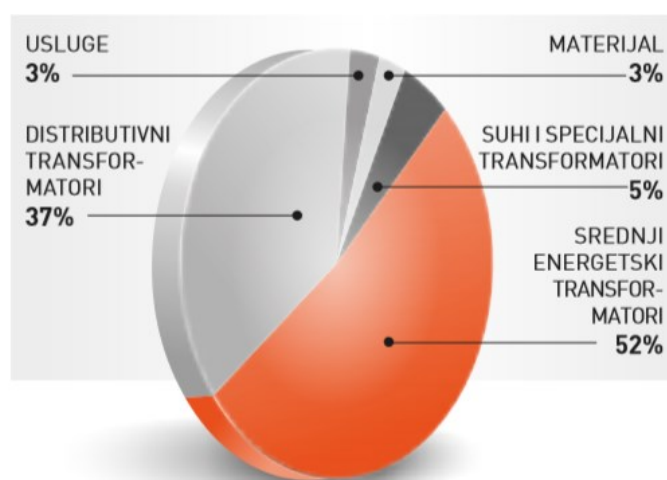


Slika 26. Kretanje prihoda od prodaje [31]

Slikom 26 vidljiv je niz godina uspješnog poslovanja Končar D&ST-a, čime nije omogućeno samo širenje na nova tržišta (Poljska), već su dobri poslovni rezultati te kontinuirani rast potaknuli i proširenje zagrebačkog pogona.

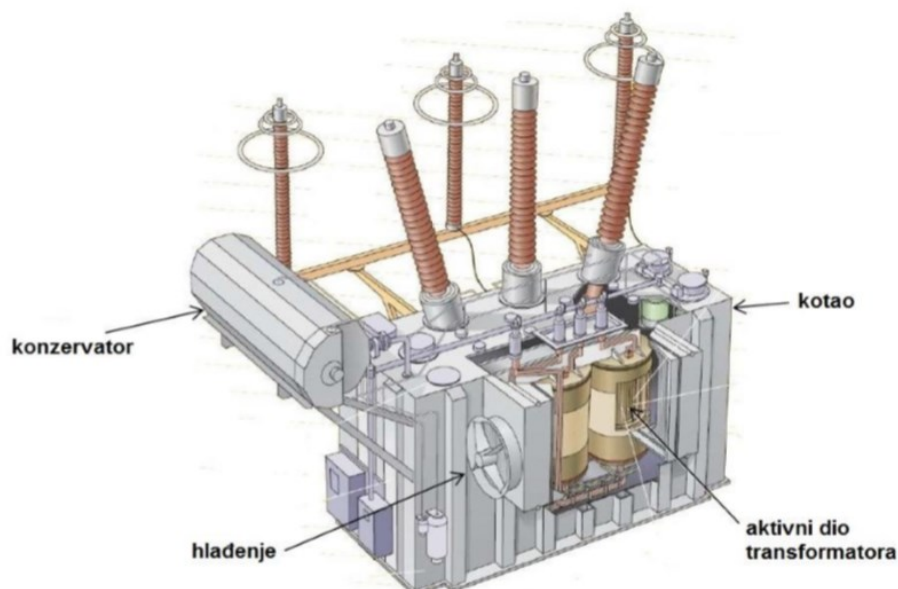
Po pokrenutom strateškom investicijskom projektu na području proizvodnje distributivnih transformatora u 2019. godini završena je prva faza projekta - na 5.000 m² uređen je Rezni centar za proizvodnju magnetskih jezgri transformatora.

Sredinom 2020. godine kompletiran je projekt tog novog proizvodnog pogona te je završeno uspostavljanje novih proizvodnih tokova.



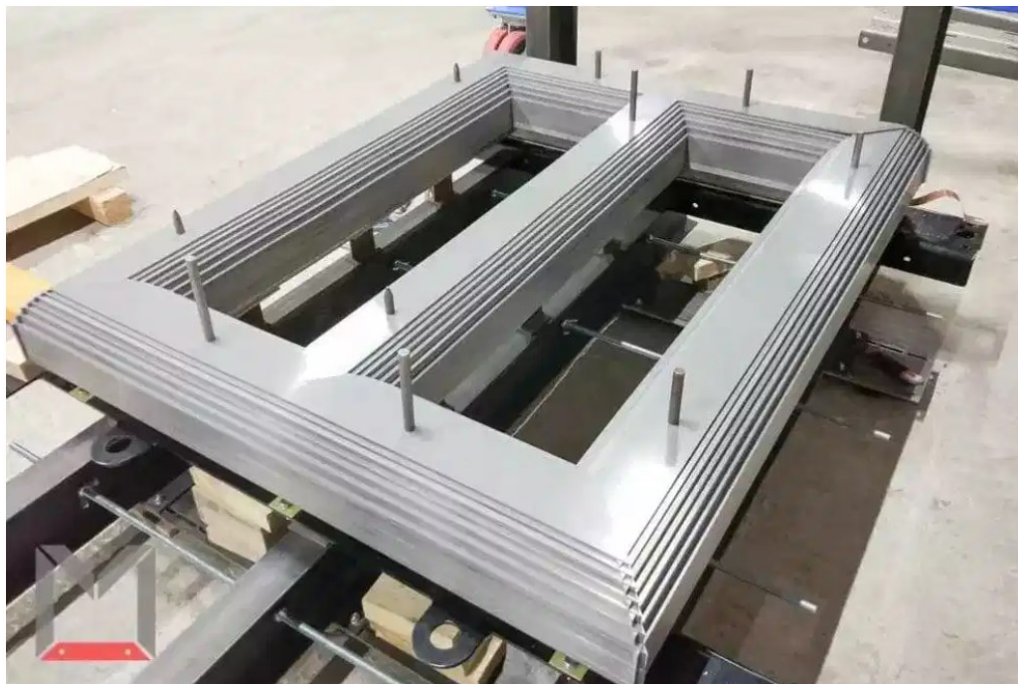
Slika 27. Struktura ugovorenog po asortimanu 2019. [31]

Važnost povećanja proizvodnih kapaciteta dovršetkom projekta Reznog centra jasno je vidljiva iz slike 27. Naime u Reznom centru se odvija proizvodnja magnetskih jezgri distributivnih i srednjih energetske transformatora koji zajedno nose gotovo 90% ugovorenog po asortimanu u 2019. godini. Upravo zbog činjenice odvijanja proizvodnje magnetskih jezgri transformatora u ovom dijelu pogona, fokus primjene DMAIC procesa bit će na Reznom centru.



Slika 28. Osnovni dijelovi transformatora [32]

Jezgra čini sastavni dio aktivnog dijela transformatora kako je vidljivo na slici 28 i služi za prijenos magnetskog toka iz jedne zavojnice transformatora u drugu. Ona prolazi kroz obje zavojnice i zatvara puni krug čime se osigurava da gotovo sav magnetski tok induciran u jednoj od zavojnica prolazi kroz jezgru i ne izlazi iz nje. Na jednu zavojnicu (primar) dovodi se izmjenični napon koji uzrokuje izmjeničnu struju kroz tu zavojnicu, a time i promjenjiv magnetski tok. Taj magnetski tok inducira elektromotornu silu u drugoj zavojnici (sekundaru) [33].



Slika 29. Magnetna jezgra transformatora [34]

Jezgra se izrađuje naslagivanjem niza tankih pločica od feromagnetskog materijala kako je prikazano slikom 29, pri čemu su pločice međusobno izolirane kako bi se izbjegle vrtložne struje u samoj jezgri. Pravilni i optimalni oblik pločica koje se ugrađuju u jezgru dobiva se prethodnim rezanjem, prvo uzdužnim rezanjem u trake odgovarajuće širine, a zatim poprečnim rezanjem kako bi se došlo do prilagodbe potrebnog oblika.

4.2. Praktična primjena DMAIC procesa

Provedbom DMAIC procesa prema Lean Six Sigma metodologiji primijenit će se neki od alata spomenutih u ranijim poglavljima s ciljem unaprjeđenja procesa.

4.2.1. Faza definiranja (engl. Define phase)

4.2.1.1. Projektna povelja

Kao što je navedeno u poglavlju 3.1.1., svaki LSS projekt započinje s kvalitetno definiranom projektom poveljom. Na taj način je započeo i projekt u Končar D&ST-u, sastankom

projektnog tima, definiranjem opsega projekta te detektiranjem iskoristivih mogućnosti u vidu dostupnih internih materijala koji mogu doprinijeti uspješnosti ovog projekta.

Projektna povelja – Diplomski rad (Rezni centar)

Definicija problema Postoji problem nedovoljno dobre protočnosti sirovine (lima) kroz rezni centar te ju je potrebno povećati. Kako bi se to postiglo, morat će se eliminirati gubitci za koje se smatra da postoje no nije jasno definirano gdje se oni pojavljuju i u kojoj mjeri.	Ciljevi projekta Uklanjanje gubitaka i ostvarenje povećanog protoka lima kroz centar za rezanje lima u odnosu na trenutno stanje. Cilj se planira postići kroz 3 faze: A. Analiza trenutnog stanja B. GAP analiza (analiza raskoraka između očekivanja i sadašnjih mogućnosti i kapaciteta organizacije) C. Prijedlozi za buduća poboljšanja	Opseg projekta Lokacije: - centar za rezanje lima (Rezni centar - RC) - ured razvoja proizvodnje Inženjerski alati: - SMED (<i>Single-Minute Exchange of Die</i>) - Analiza potencijalnih problema (<i>Potential problem analysis – PPA</i>) - Matrica isplativosti	Projektni tim Sponzor • poduzeće Končar – Distributivni i specijalni transformatori d.d. (KONČAR D&ST) Voditelj projekta • Marko Šimić, student Tim • Miro Hegedić, doc. dr. sc., mentor u izradi diplomskog rada
Ključni pokazatelji uspješnosti (KPI) • protok lima (mjerna jedinica metri/danu) • protok lima (mjerna jedinica kilogrami/danu) • količina gotovih jezgri transformatora (mjerna jedinica komadi/danu)	Isporučeni materijali • Projektni plan • Projektna povelja • SIPOC dijagram • Yamazumi dijagram • Pareto dijagram • Boxplot dijagram • Mape procesa • SMED analiza • Prijedlozi ključnih poboljšanja	Iskoristive mogućnosti S obzirom na nekoliko prethodno provedenih Lean - projekata unutar poduzeća te težnju poduzeća ka kontinuiranom poboljšanju primjenom metodologije vitke proizvodnje, postoji značajan potencijal za daljnji nastavak implementiranja odgovarajućih alata za postizanje transformacije u cjelovito vitko poduzeće.	• Marko Huljak, rukovoditelj razvoja proizvodnje • Dario Trbušić, inženjer razvoja proizvodnje specijaliziran za rezni centar

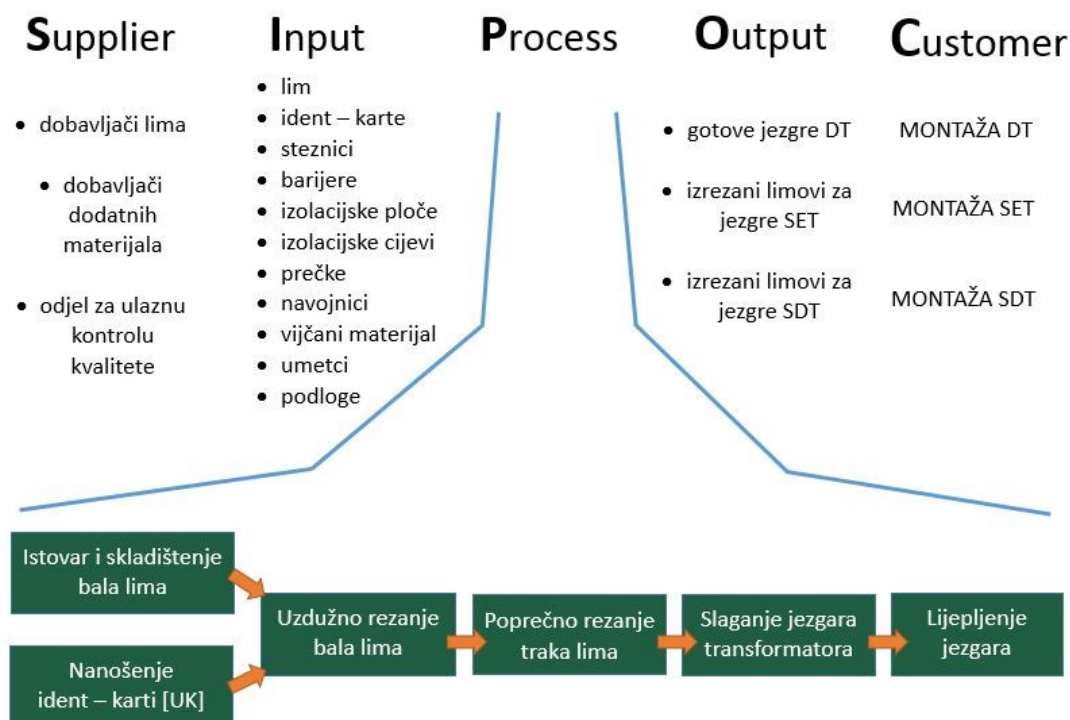
Define	Measure	Analyze	Improve	Control	Verzija: 1.0
7.1.2021.	1.2.2021.	1.3.2021.	1.4.2021.	1.5.2021.	Datum: 7.1.2021.

Slika 30. Projektna povelja

Slikom 30 prikazana je ispunjena projektna povelja pri čemu je ustanovljeno da postoji potencijal za još bolju protočnost lima kroz proizvodni pogon Reznog centra.

4.2.1.2. Poopćeni procesni dijagram

Nakon kompletirane projektne povelje, slijedi izrada poopćenog procesnog dijagrama, odnosno SIPOC dijagrama. Njime se dobiva pregledno stanje trenutno promatranog procesa. Kako bi se pojasnio ukupni postupak proizvodnje magnetskih jezgri distributivnih i srednjih energetske transformatora, za početak će biti razrađen SIPOC dijagram za cijeli Rezni centar.



Slika 31. Poopćeni procesni dijagram za Rezni centar

Slikom 31 prikazan je SIPOC dijagram za Rezni centar, iz čega je vidljivo da se proces proizvodnje jezgri sastoji od narednih aktivnosti:

- 1) Istovar bala lima te njihovo skladištenje od strane skladišnog transportera. Istodobno zaposlenik iz odjela Ulazne kontrole obilazi novopristigli materijal kako bi nanio identifikacijske kartice s odgovarajućim specifikacijama na njih.
- 2) Na linijama za uzdužno rezanje lima vrši se rezanje bala lima u trake odgovarajuće širine.
- 3) Linije za poprečno rezanje su zadužene za oblikovanje prethodno izrezanih traka u tražene oblike komada lima.
- 4) Nakon poprečno izrezanih dijelova lim dolazi na hidrauličke naprave za slaganje gdje radnici ručno vrše slaganje jezgara transformatora.
- 5) Radna stanica za lijepljenje jezgara je posljednja postaja prije nego što sastavljene jezgre mogu nastaviti prema idućem koraku u proizvodnji transformatora, odnosno prema montaži. Lijepljenjem se želi stabilizirati jezgre te spriječiti mogućnost njihovog raspadanja tijekom daljnjih proizvodnih postupaka.

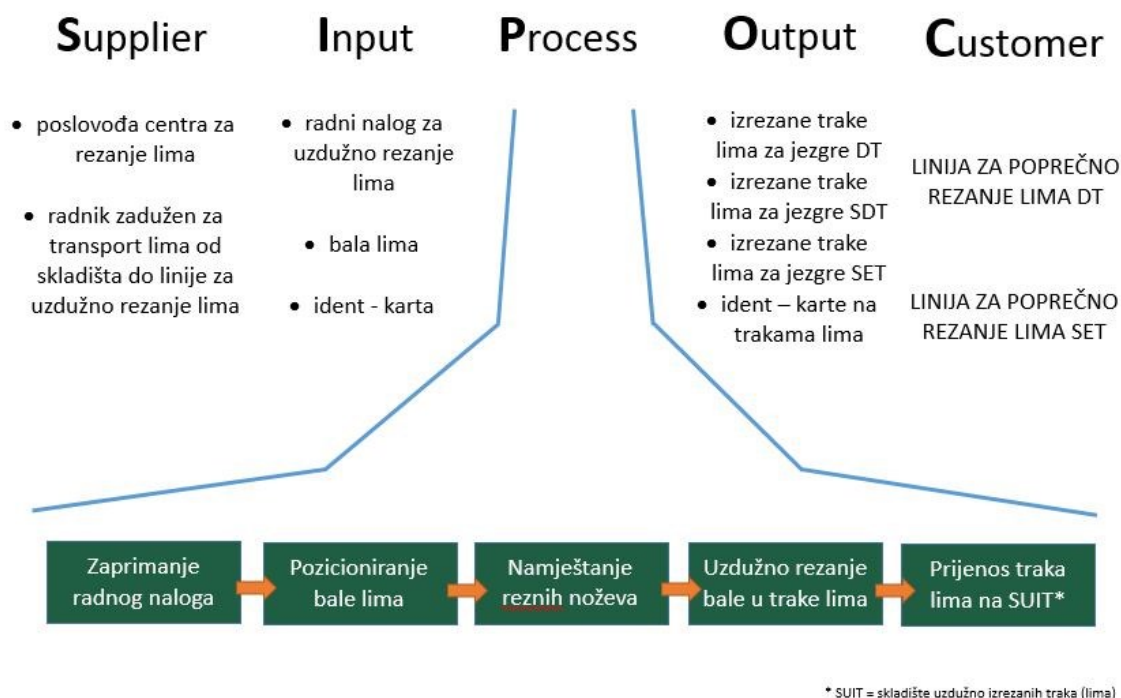
Tier 2 - lim 0,2

Duljina bale:	Širina bale:	Debljina lima:	Masa bale [t]:
2300	900	0,2	3,17
Broj radnih dana:	Broj smjena:	Broj radnih sati u smjeni:	Broj štelanja noževa po smjeni:
225	4	7	3
Broj izrezanih bala po smjeni:	Vrijeme potrebno za štelanje noževa [min]:	Vrijeme rezanja po bali [min]:	Godišnja produktivnost [t]:
5,3	50	25,6	15223
Pripremno završno vrijeme za jednu balu [min]:	Prosječna brzina rezanja [m/min]:	Produktivnost po satu	
25	90	2416	

Slika 32. Broj i trajanje izmjena alata na Liniji za uzdužno rezanje lima [35]

Prilikom inicijalne analize dostupnih podataka omogućenih od strane poduzeća, a vidljivo iz slike 32, uočeno je sljedeće:

- 1) Nakupljanje velikih količina skladištenog materijala (lima) na samom početku procesa proizvodnje jezgri transformatora. Do te situacije dolazi zbog nemogućnosti kontinuirane isporuke sirovina od strane stranog dobavljača.
- 2) Nepovoljan omjer iskorištenosti strojeva na linijama za uzdužno rezanje lima. To je posljedica vremenski dugotrajnih i prilično čestih izmjena alata, što je vidljivo na slici 31.
- 3) Planovi poduzeća o povećanju proizvodnih kapaciteta kroz skoriju budućnost, odnosno nabava dodatne linije za poprečno rezanje traka lima. U slučaju nabave dodatne linije za poprečno rezanje traka lima, to znači i povećani protok materijala (lima) kroz strojeve na linijama za uzdužno rezanje lima.

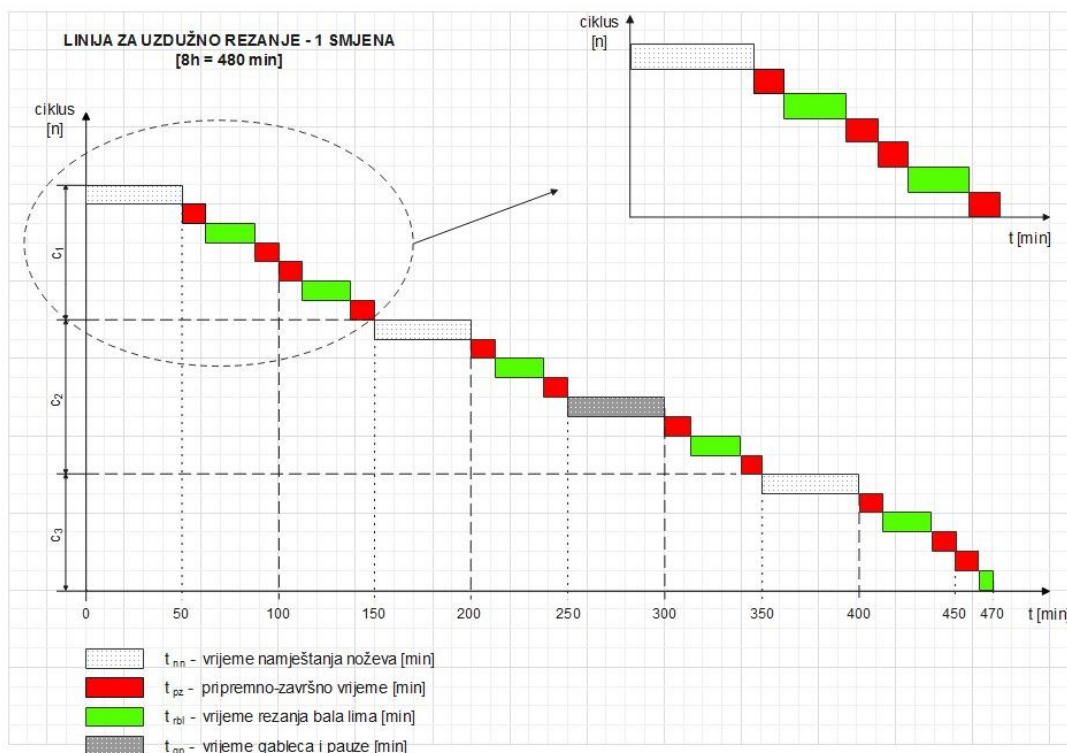


Slika 33. Poopćeni procesni dijagram Linije za uzdužno rezanje lima

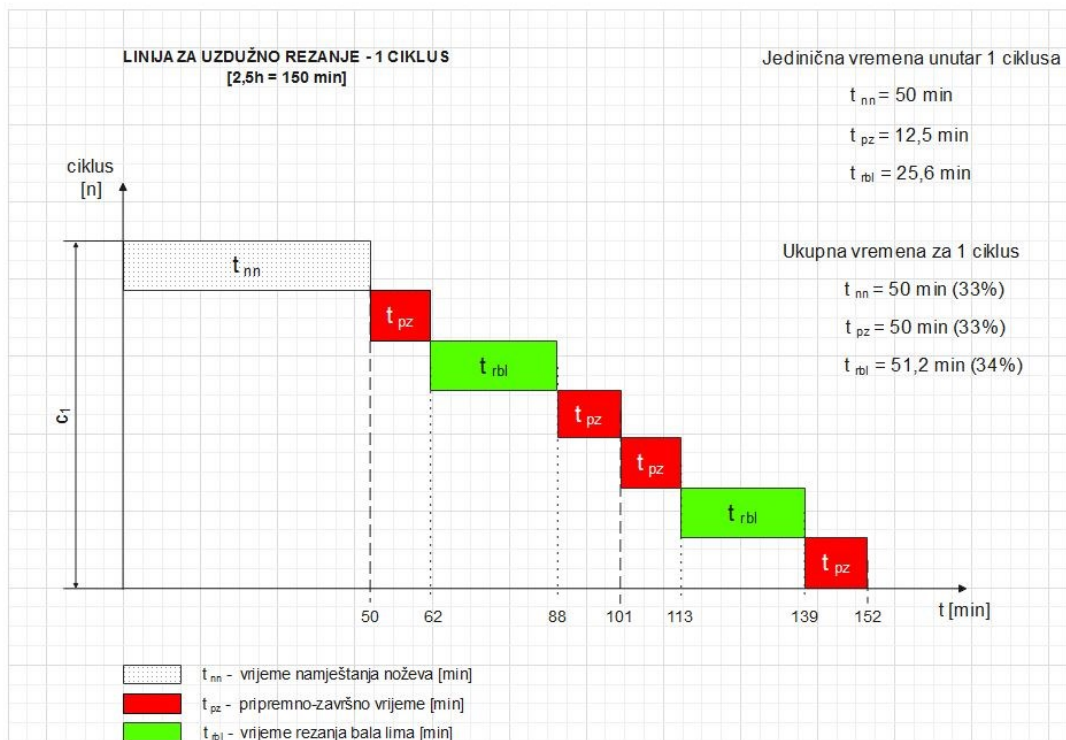
„Gemba šetnjom“ kroz proizvodni pogon Reznog centra ustanovljeni su osnovni dijelovi radnog procesa na Linijama za uzdužno rezanje lima što je prikazano novim SIPOC dijagramom koji se vidi na slici 33.

4.2.2. Faza mjerenja (engl. Measure phase)

S obzirom na prethodno proučene podatke o zabilježenim vremenima rezanja lima, nakon stvorenog SIPOC dijagrama slijedi grafički prikaz radi bolje vremenske preglednosti ciklusa uzdužnog rezanja.



Slika 34. Trenutno zabilježena raspodjela vremena za 1 smjenu (Linija za uzdužno rezanje)

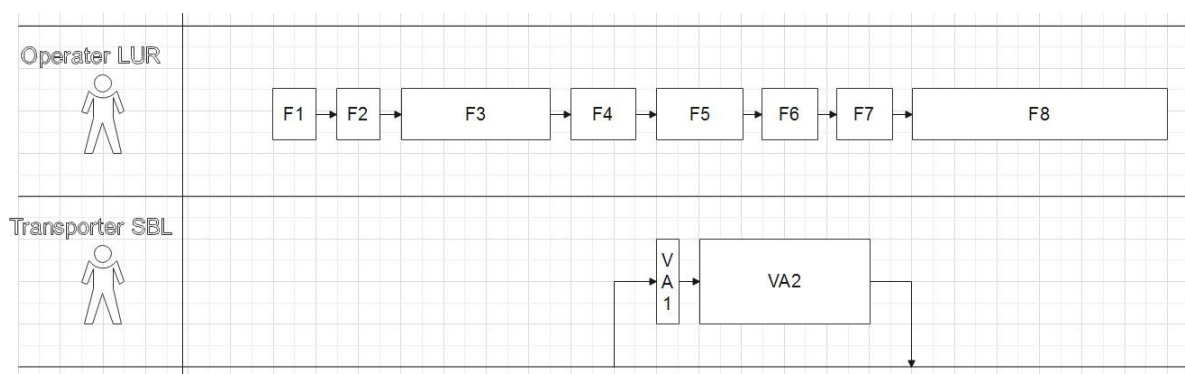


Slika 35. Trenutno zabilježena raspodjela vremena za 1 ciklus između dviju izmjena alata (Linija za uzdužno rezanje)

Prethodne slike 34 i 35 prikazuju kako je tek trećina ukupno dostupnog vremena unutar jedne smjene zaista iskorištena za rad stroja, odnosno za dodavanje vrijednosti proizvodu. Ostatak vremena tijekom smjene stroj miruje dok se vrši izmjena alata, odnosno priprema stroja. Takav omjer iskorištenosti rada stroja jasno sugerira kako bi trebalo provesti detaljniju analizu promatranog procesa, s ciljem moguće detekcije nepotrebnih gubitaka. Kada se govori o detaljnoj analizi izmjene alata nekog stroja, pokušava se maksimalno reducirati vrijeme izmjene alata kako bi stroj što manje vremena mirovao. U tom slučaju započinje se sa SMED analizom koja je prethodno objašnjena u poglavlju 2.3.4..

4.2.2.1. Mapiranje procesa i dijagram toka

SMED analizu najlakše je započeti definiranjem nekoliko podskupina procesa čime se povezuju aktivnosti tijekom izmjene alata koje čine određenu logičnu cjelinu.



Slika 36. Dijagram toka izmjene alata na Liniji za uzdužno rezanje lima

Slikom 36 prikazan je trenutni dijagram toka izmjene alata na Liniji za uzdužno rezanje, pri čemu su određeni radni postupci podijeljeni u faze kako slijedi:

- F1 (faza 1): Priprema izmjene alata na stražnjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima.
- F2 (faza 2): Izmjena alata na stražnjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima.
- F3 (faza 3): Priprema izmjene alata na prednjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima i čišćenje reznih noževa.
- F4 (faza 4): Skidanje čeličnih distancera i reznih noževa s gornje osovine na prednjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima.

- F5 (faza 5): Umetanje čeličnih distancera i reznih noževa na gornju osovinu na prednjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima.
- F6 (faza 6): Skidanje čeličnih distancera i reznih noževa s donje osovine na prednjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima.
- F7 (faza 7): Umetanje čeličnih distancera i reznih noževa na donju osovinu na prednjem dijelu stroja za uzdužno rezanje lima.
- F8 (faza 8): Povratak prednjeg dijela stroja u radnu poziciju i puštanje u probni rad.
- VA1 (vanjska aktivnost 1): Dolazak transportera s drugog radnog mjesta radi umetanja nove bale lima za rezanje na stroj.
- VA2 (vanjska aktivnost 2): Dolazak transportera s drugog radnog mjesta radi pražnjenja otpadnog spremnika i potom vraćanje spremnika na njegovo mjesto unutar stroja.

Za upravo definirane faze u koje se podijelio proces izmjene alata na Liniji za uzdužno rezanje lima potrebno je pojasniti nekoliko pojmova za bolje razumijevanje tog procesa:

- Glavni alat za rezanje lima na Liniji za uzdužno rezanje su rezni noževi koji se nalaze na gornjoj i donjoj osovinu s prednje strane stroja.
- Između reznih noževa na istim osovinama nalaze se takozvani čelični distanceri koji služe za učvršćivanje, odnosno stabilizaciju reznih noževa tijekom rada stroja.
- Na stražnjoj strani Linije za uzdužno rezanje također mora biti izvršena izmjena alata, pri tome se radi o „sporednim“ alatima, odnosno usmjerivačima lima.
- Jedna izmjena alata na Liniji za uzdužno rezanje lima obuhvaća promjenu glavnog alata na prednjoj strani stroja i promjenu „sporednih“ alata na stražnjoj strani stroja kao i vraćanje stroja u prvobitni radni položaj.

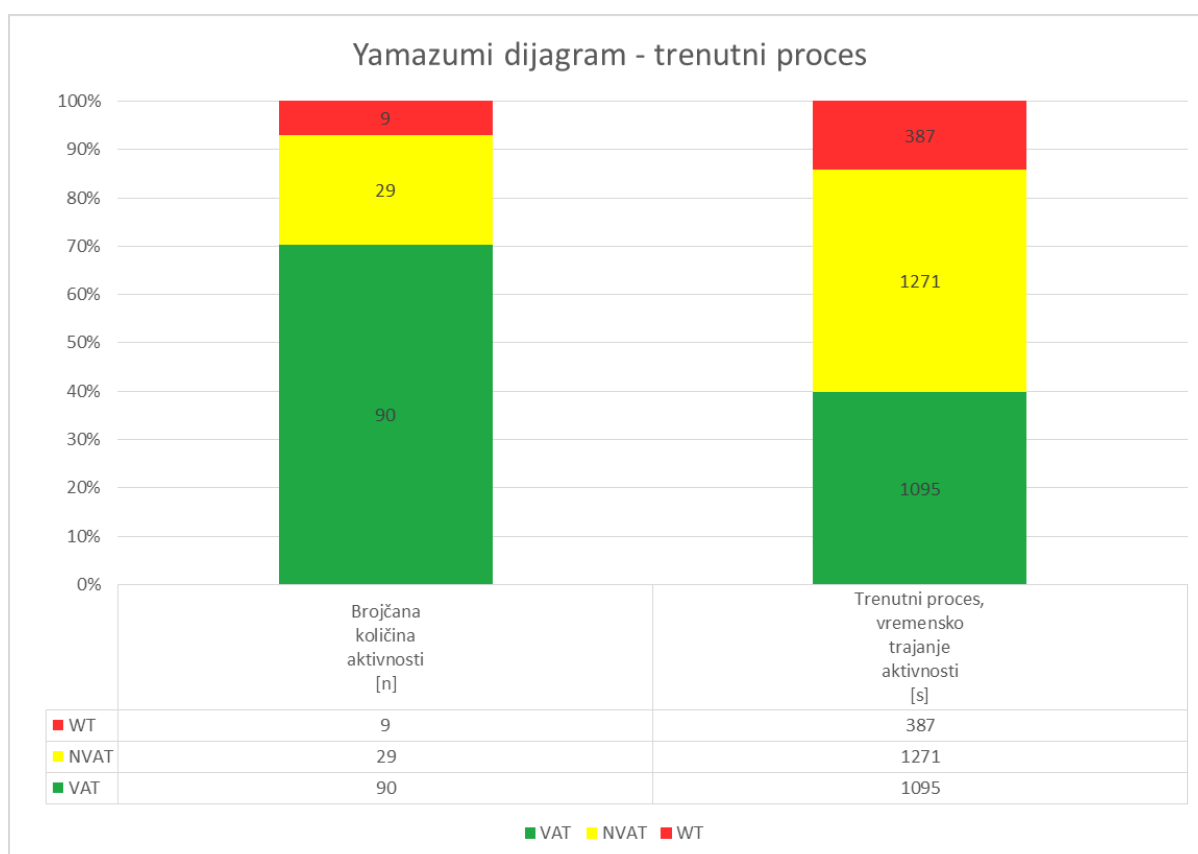
4.2.3. Faza analiziranja (engl. Analyze phase)

Snimanjem procesa izmjene alata dobiva se snimljeni materijal koji se može upotrijebiti za vrlo precizno određivanje vremenskog trajanja pojedinih aktivnosti unutar procesa izmjene alata. Stoga će upravo snimanje procesa izmjene alata biti obavljeno u ovoj fazi.

4.2.3.1. Yamazumi dijagram

Svaka od prethodno opisanih 8 faza sastoji se od određenog broja aktivnosti radnika tijekom procesa izmjene alata pri čemu je za ovu analizu proces izmjene alata podijeljen na 128 aktivnosti koje pri tome obavi operater dok stroj stoji.

Idući korak analize izmjene alata sastoji se od definiranja koje od tih aktivnosti spadaju u gubitke, koje u aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu ali su nužne, te na kraju koje aktivnosti pripadaju onima koje dodaju vrijednost.



Slika 37. Yamazumi dijagram – trenutni proces

Treba napomenuti kako se svaka aktivnost kod koje dolazi do manipuliranja glavnim alatima za rezanje lima (reznim noževima i čeličnim distancerima) u ovome radu smatrala aktivnošću koja dodaje vrijednost. Preostale aktivnosti poput vraćanja stroja ili dijelova stroja u radnu poziciju su se smatrala aktivnostima koje ne donose vrijednost ali su nužne, a nepotrebna kretanja radnika te čišćenja reznih noževa i čeličnih distancera za vrijeme mirovanja stroja su uvrštena u gubitke.

Kao što je pojašnjeno u poglavlju 3.3.1.3., cilj SMED analize je eliminirati sve gubitke (WT), reducirati aktivnosti koje su nužne ali ne dodaju vrijednost (NVAT), te optimizirati aktivnosti koje dodaju vrijednost (VAT).

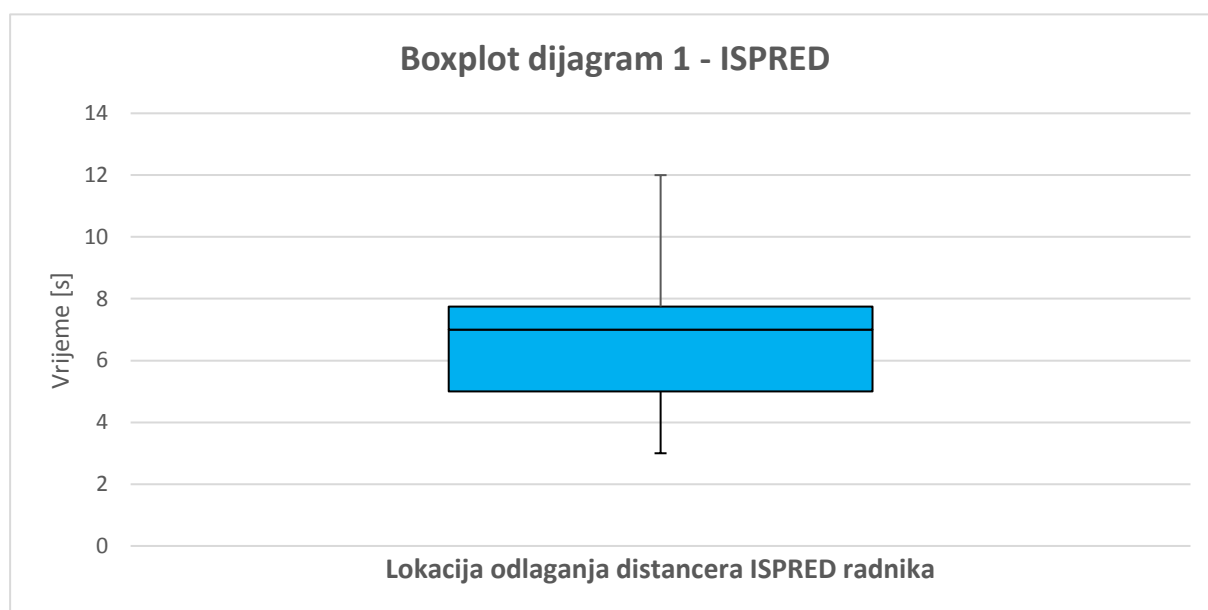
Slika 37 lijevo prikazuje koliko je aktivnosti brojčano svrstano u koju od spomenutih skupina aktivnosti, dok desni dio slike prikazuje podatke o trajanju aktivnosti. Ukupni broj od 128 aktivnosti u koje je podijeljen proces izmjene alata ima ukupno vremensko trajanje od 2753 sekunde, odnosno 45 minuta i 53 sekunde.

4.2.3.2. Boxplot dijagram – trajanje odlaganja alata

Boxplot dijagramima su se pobliže proučile faze 4, 5, 6 i 7 opisane u prethodnom poglavlju. Te 4 faze čine temeljni dio izmjene alata pošto su sve aktivnosti unutar njih definirane kao aktivnosti koje donose vrijednost.

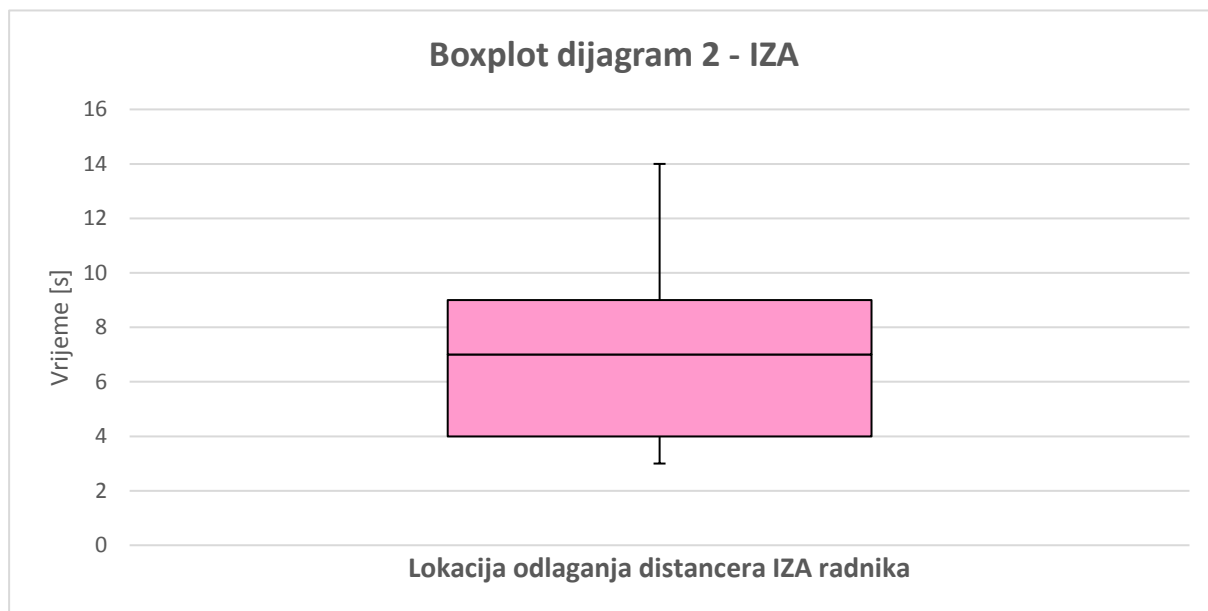
Aktivnosti unutar ovog temeljnog dijela izmjene alata mogu se podijeliti na aktivnosti s 3 različite lokacije odlaganja reznih noževa i čeličnih distancera:

- 1) Lokacija odlaganja alata ispred radnika
- 2) Lokacija odlaganja alata iza radnika
- 3) Lokacija odlaganja alata na radni ormar u blizini stroja.



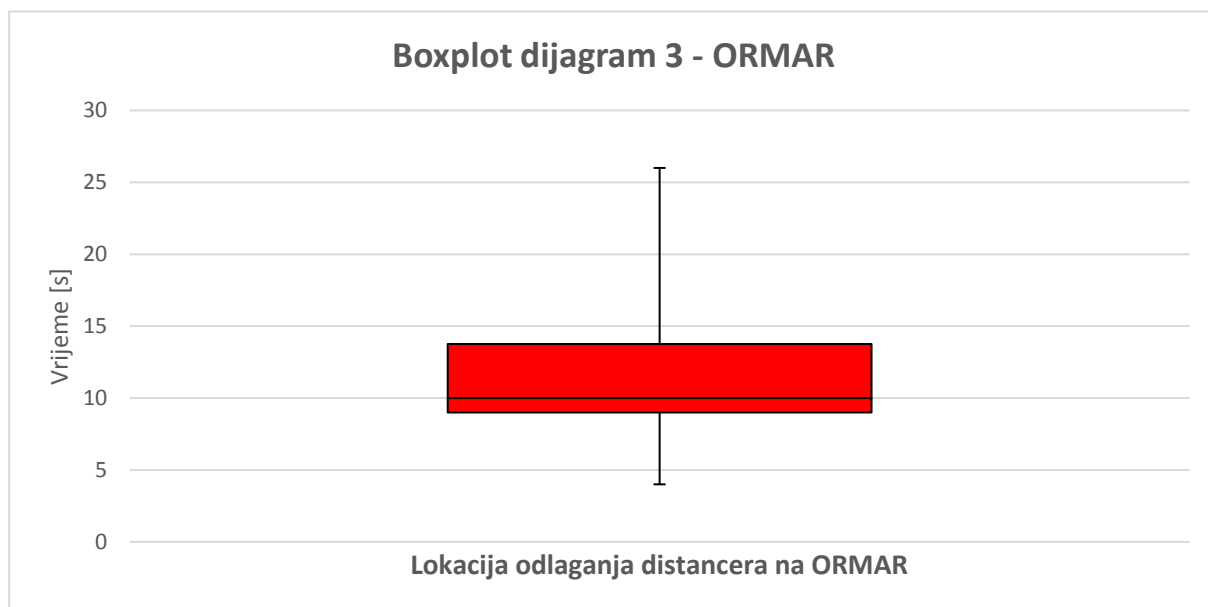
Slika 38. Boxplot dijagram za trajanje odlaganja distancera ispred radnika

Tijekom jedne uobičajene izmjene alata radnik 27 puta spušta ili podiže alat na podlogu ispred sebe.



Slika 39. Boxplot dijagram za trajanje odlaganja distancera iza radnika

Tijekom jedne uobičajene izmjene alata radnik 22 puta spušta ili podiže alat na podlogu iza sebe.



Slika 40. Boxplot dijagram za trajanje odlaganja distancera na ormar uz stroj

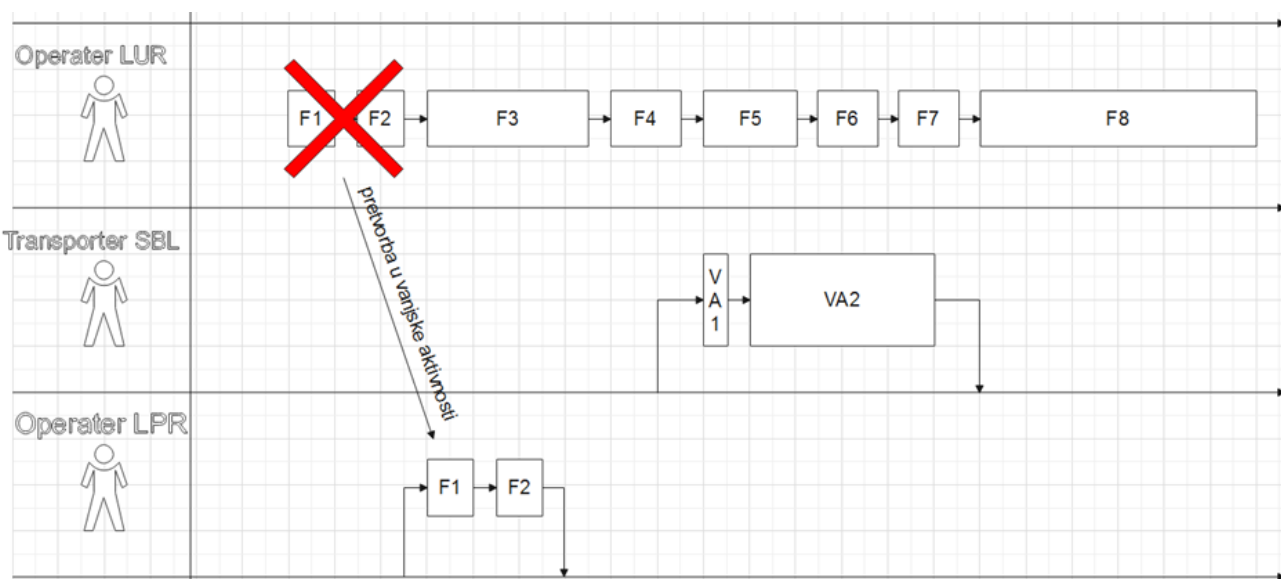
Tijekom jedne uobičajene izmjene alata radnik 36 puta prehoda do radnog ormara uz stroj i natrag.

Iz ova tri boxplot dijagrama na slikama 37, 38 i 39 vidljivo je da odlaganja čeličnih distancera iza i ispred radnika imaju jednaku vrijednost medijana. Po pitanju varijacija u vremenima trajanja aktivnosti također su te dvije lokacije poprilično stabilne. S druge strane, očekivani rezultati dobiveni su kod Boxplot dijagrama 3 za lokaciju radnog ormara do koje se radnik svaki put iznova mora kretati u oba smjera. Viši medijan te značajne varijacije daju naslutiti da je to dio procesa izmjene alata s potencijalom poboljšanja.

4.2.4. Faza poboljšavanja (engl. Improve phase)

4.2.4.1. Prijedlog 1: Prebacivanje prvih dviju faza procesa izmjene alata na drugog radnika

U Poglavlju 4.2.2.1. primjetno je kako se faza 1 i faza 2 jedine tijekom procesa izmjene alata odvijaju na stražnjem dijelu stroja, dok se sve ostale aktivnosti operatera koji je zadužen za izmjenu alata odvijaju na prednjem dijelu stroja.

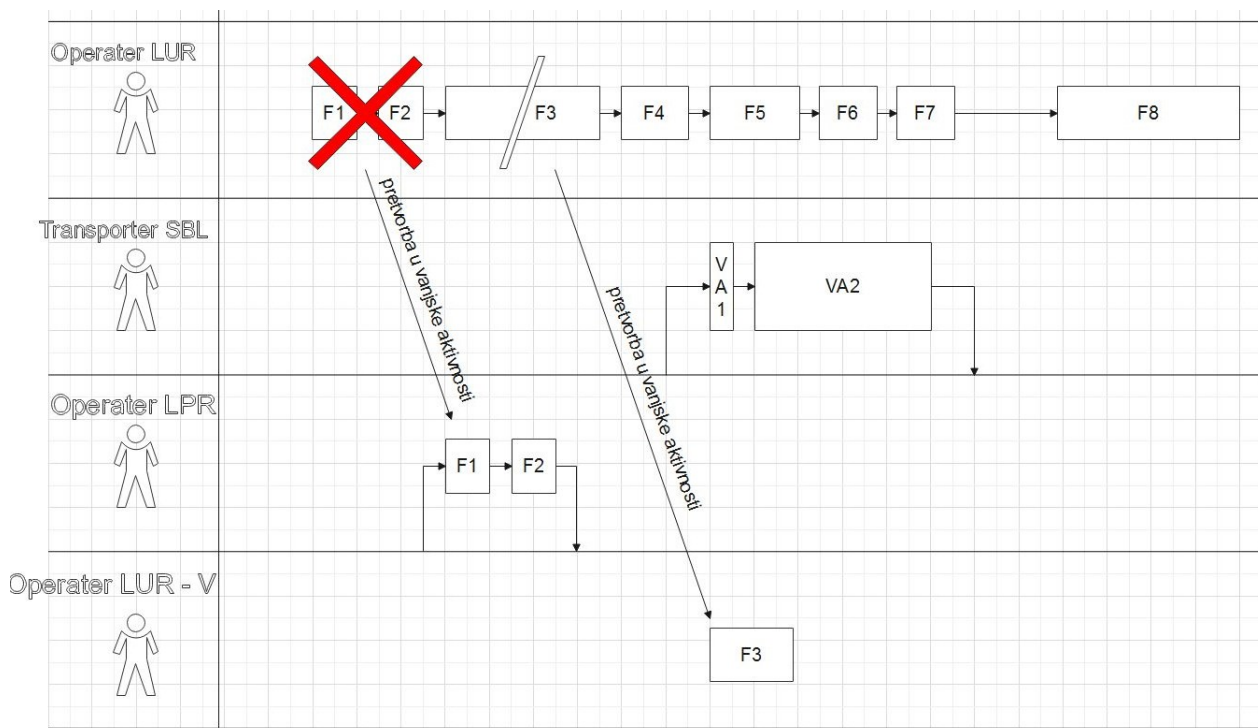


Slika 41. Pretvorba u vanjske aktivnosti

Slikom 40 prikazan je klasičan primjer pretvorbe unutarnjih aktivnosti u vanjske tijekom izmjene alata. Time se postiže značajna vremenska ušteda, a operater na Liniji za poprečno rezanje lima (LPR) tijekom rada svoga stroja ima mogućnost dolaska radi ispomoći svom kolegi s obzirom na to da kod linije za poprečno rezanje nije nužan stalni nadzor.

4.2.4.2. Prijedlog 2: Čišćenje reznih noževa i čeličnih distancera za vrijeme rada stroja

Polovicu faze 3 promatrane izmjene alata čini čišćenje reznih noževa od strane operatera koji vrši izmjenu. Taj se proces događa za vrijeme dok stroj stoji. Radi se o nezanemarivoj vremenskoj uštedi ukoliko se to čišćenje noževa ukloni iz procesa izmjene noževa, za vrijeme mirovanja stroja.

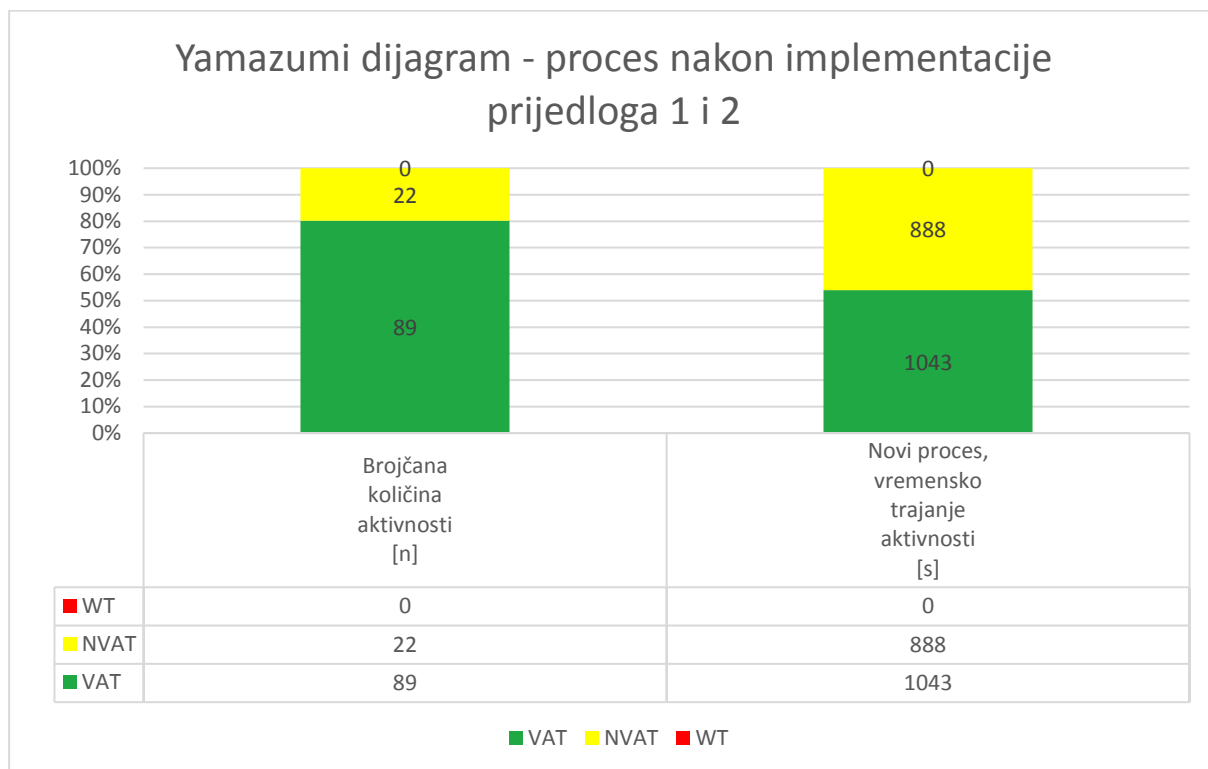


Slika 42. Pretvorba u vanjsku aktivnost (za vrijeme rada stroja)

Pretvorba aktivnosti čišćenja noževa iz unutarnje u vanjsku aktivnost te time prepolovljeno trajanje faze 3 tijekom izmjene alata prikazano je slikom 42.

Faza 8 se također može vremenski reducirati s obzirom na to da unutar navedene faze dolazi do nepotrebnih odlazaka po radnu opremu (rukavice, bušilica,...), umjesto da ona bude unaprijed pripremljena i pri ruci.

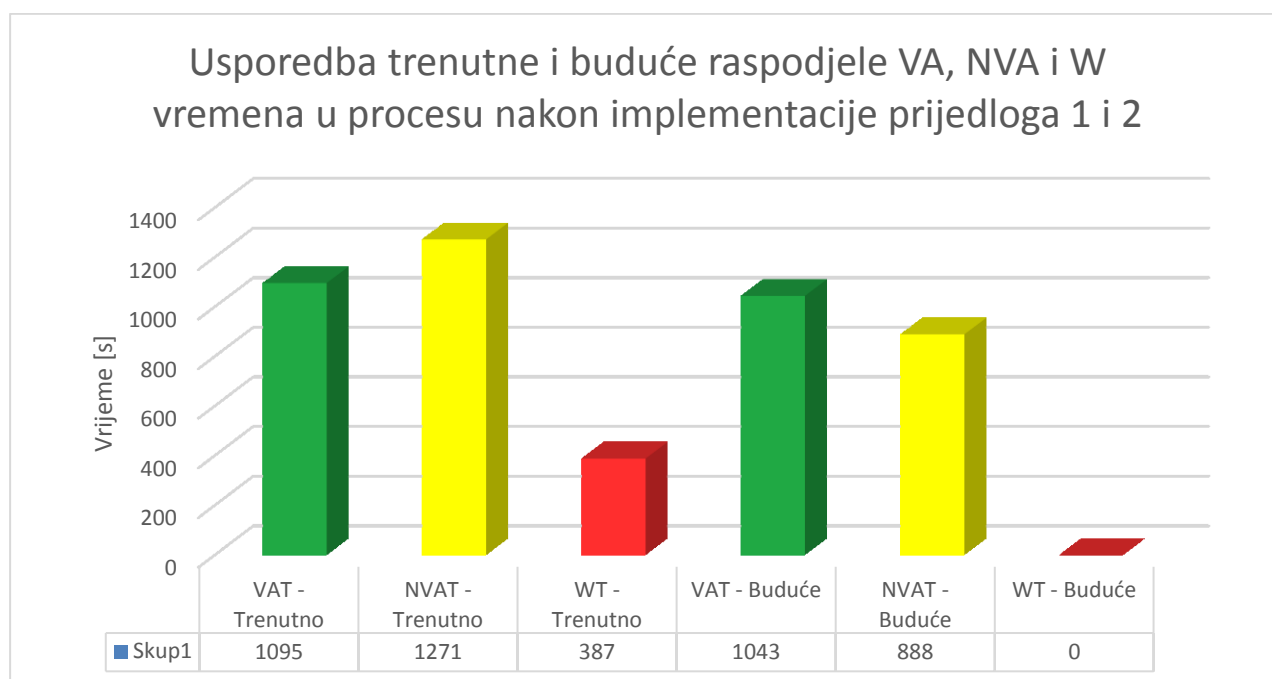
4.2.4.3. Potencijalna ušteda vremena provedbom prijedloga 1 i 2



Slika 43. Yamazumi dijagram – nova raspodjela aktivnosti implementiranjem prijedloga 1 i 2

Yamazumi dijagram na slici 42 prikazuje potencijalnu novu raspodjelu aktivnosti koje dodaju vrijednost te onih koje ne dodaju vrijednost ali su nužne. Gubitci su u tom slučaju potpuno eliminirani kako je bilo i zamišljeno.

Naspram inicijalnih 128 aktivnosti koje je operater prilikom izmjene alata morao obaviti, sada je taj broj reduciran na 111.



Slika 44. Potencijalno uštedeno vrijeme provedbom prijedloga 1 i 2

Slikom 44 vidljive su postignute razlike između postojećeg procesa izmjene alata i potencijalnog budućeg procesa nakon provedbe prijedloga 1 i 2.

- Eliminirano vrijeme gubitaka: svih 387 sekundi.
- Reducirano vrijeme koje je nužno, ali ne dodaje vrijednost: za 383 sekunde.
- Optimizirano vrijeme koje dodaje vrijednost: za 52 sekunde.

Ukupno smanjeno vrijeme procesa izmjene alata provedbom prijedloga 1 i 2, bez dodatnih financijskih ulaganja: 822 sekunde (13:42 min).

Staro vrijeme izmjene alata: 2753 sekunde (45:53 min).

Novo vrijeme izmjene alata: 1931 sekunda (32:11 min).

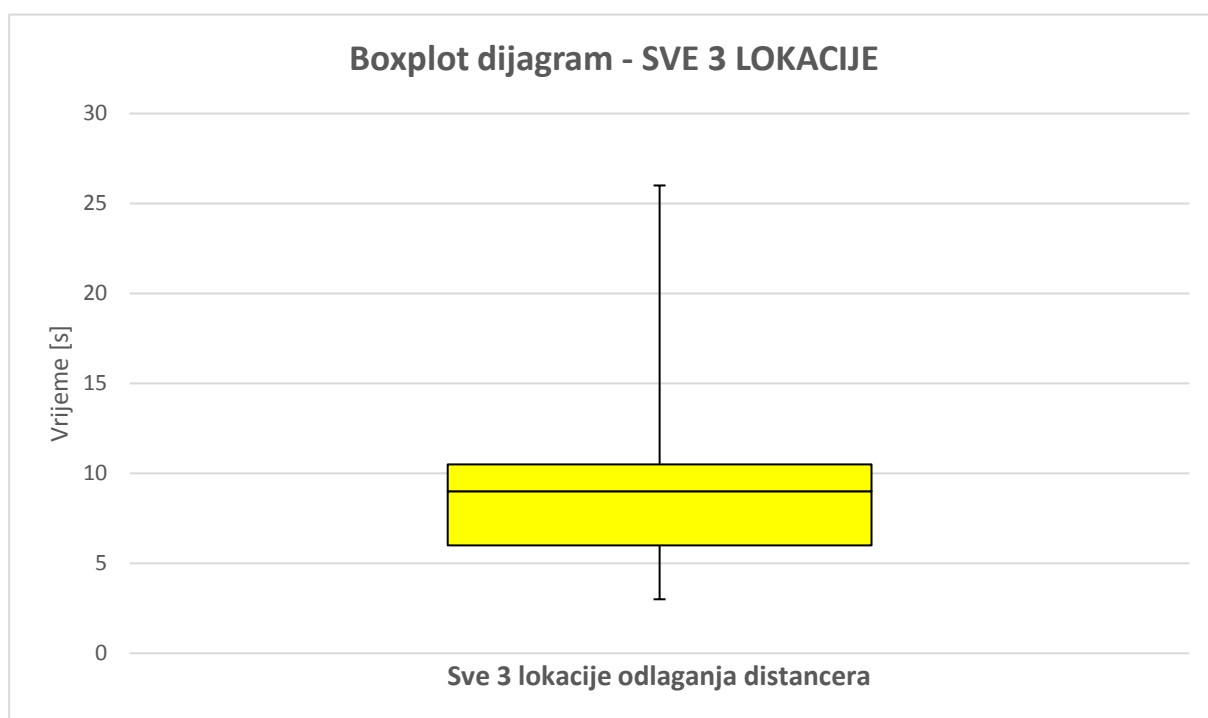
4.2.4.4. Prijedlog 3: Uvođenje radnih kolica i priprema alata

Od ukupnog procesa izmjene alata koji je u ovom slučaju podijeljen na 128 aktivnosti operatera, njih čak 85 se odnosi izravno na promjenu čeličnih distancera i reznih noževa. Logično je da upravo te aktivnosti zauzimaju najveći udio od ukupnog broja aktivnosti izmjene alata s

obzirom na to da je promjena reznih noževa zapravo sama bit izmjene alata na stroju. Upravo zato poželjno je maksimalno olakšati posao operateru pri vršenju izmjene alata. Smanjivanjem njegovog nepotrebnog kretanja smanjuje se rizik od grešaka te se ujedno skraćuje ukupno vrijeme izmjene alata, a time i nepotrebnog mirovanja stroja.

Kao što je ranije već spomenuto, radnik 27 puta spušta ili podiže alat na podlogu ispred sebe, isto tako 22 puta to čini na podlogu iza sebe.

Čak 36 puta odlazi do ormara koji se nalazi u blizini stroja radi odlaganja ili uzimanja alata.

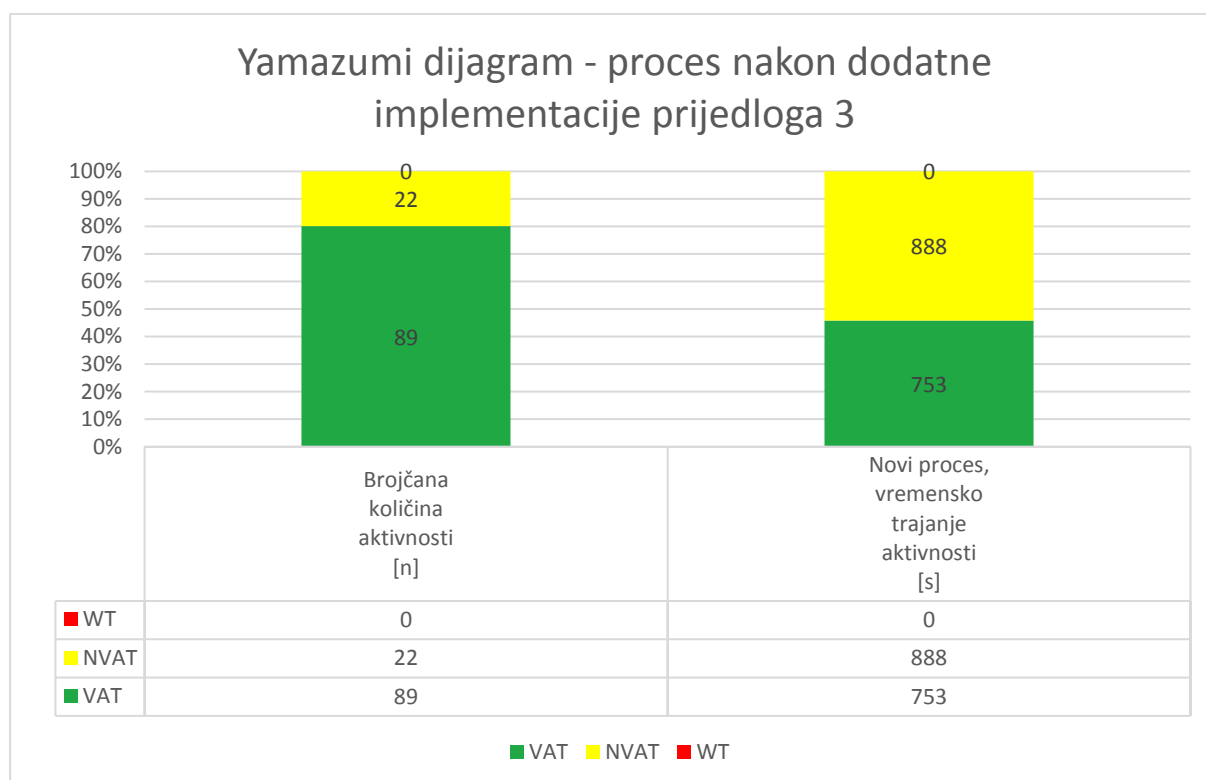


Slika 45. Zajednički boxplot dijagram za sve 3 lokacije odlaganja distancera

Zajednički boxplot dijagram za sve 3 lokacije odlaganja distancera vidljiv je na slici 44.

Uočljivo je kako je medijan kod dijagrama na slici povišen naspram aktivnosti kada radnik odlaže alate ispred ili iza sebe (medijan tamo iznosi 7 sekundi). Stoga je cilj po tom pitanju izjednačiti vrijeme trajanja aktivnosti odlaska do ormara i natrag s ostalim, uobičajenim, aktivnostima.

Najjednostavnije bi to bilo postići uvođenjem radnih kolica koja će se nalaziti neposredno uz radnika za vrijeme izmjene alata, a za vrijeme rada stroja radnik će imati vremena sve čelične distancere i rezne noževe pripremiti na kolica u redosljed u kojem se postavljaju na osovine stroja.

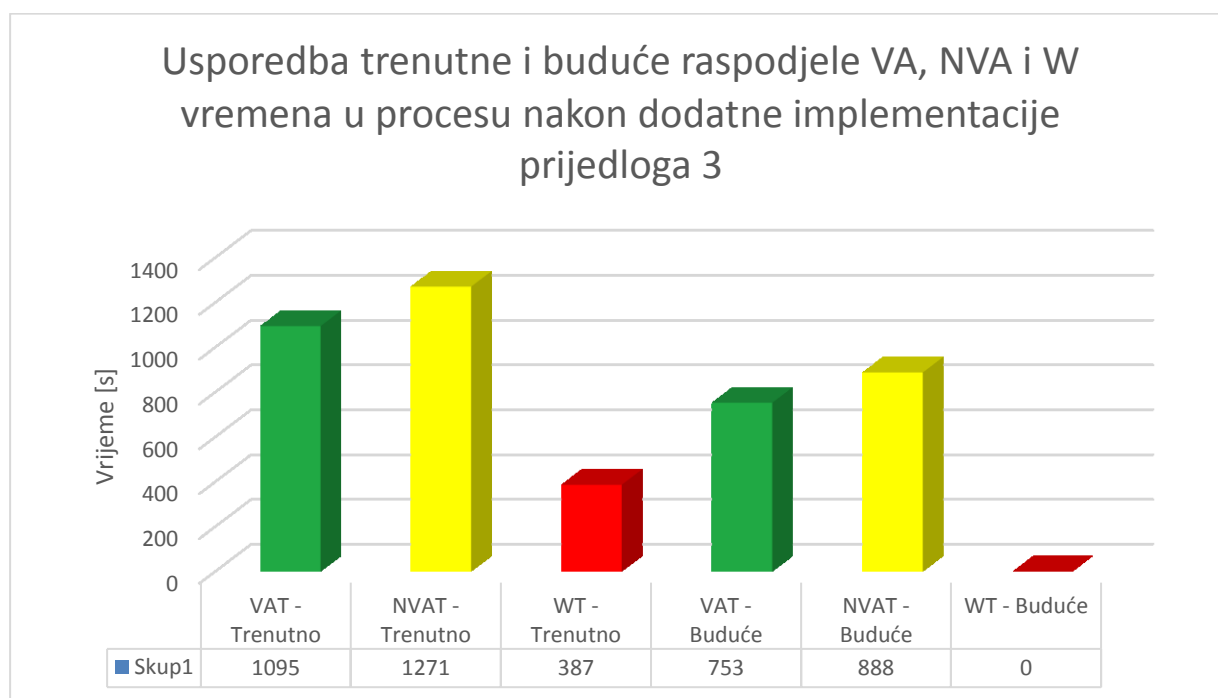


Slika 46. Yamazumi dijagram – nova raspodjela aktivnosti implementiranjem prijedloga 3

Yamazumi dijagram na slici 46 prikazuje potencijalnu novu raspodjelu aktivnosti nakon dodatnog implementiranja prijedloga 3.

Naspram prijedloga 1 i 2, treći se prijedlog odnosi isključivo na optimiziranje onih aktivnosti koje dodaju vrijednost. Provođenjem tog prijedloga, vrijeme trajanja aktivnosti koje dodaju vrijednost moglo bi se reducirati za dodatnih 290 sekundi čime bi po novome ukupno trajanje tih aktivnosti iznosilo 753 sekunde naspram prijašnjih 1043 sekunde kako je prikazano slikom 43.

4.2.4.5. Potencijalna ušteda vremena provedbom prijedloga 1, 2 i 3



Slika 47. Potencijalno uštedeno vrijeme provedbom prijedloga 1, 2 i 3

Slikom 47 prikazana je usporedba vremenskog trajanja trenutnog procesa i potencijalnog vremenskog trajanja budućeg procesa ukoliko se primijene sva tri navedena prijedloga.

Kako je već ranije navedeno, ukupno smanjeno vrijeme procesa izmjene alata provedbom prijedloga 1 i 2, bez dodatnih financijskih ulaganja: 822 sekunde (13:42 min).

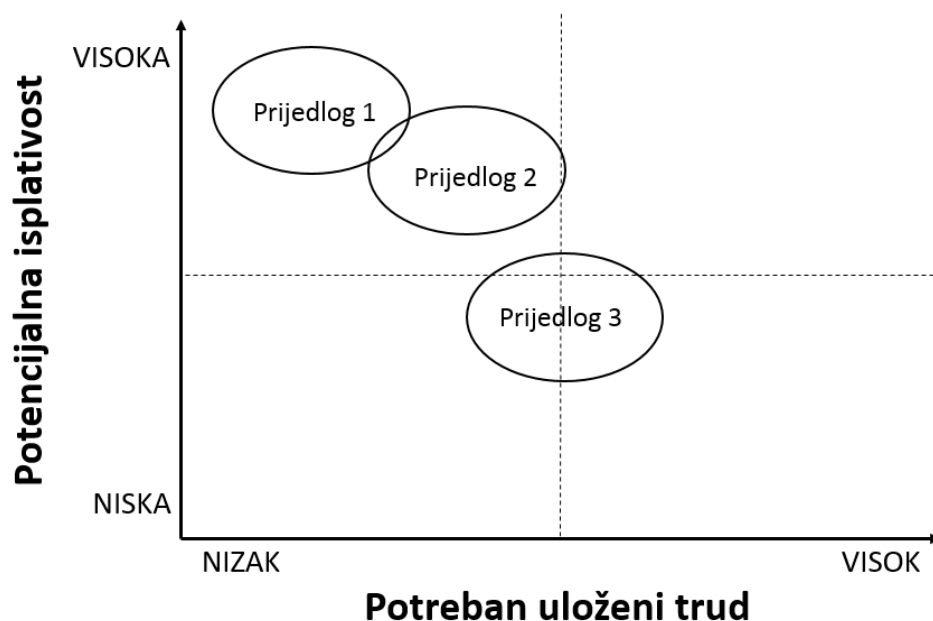
Dodatnom implementacijom trećeg prijedloga, uz neznatna financijska ulaganja: 290 sekundi (4:50 min).

Staro (trenutno) vrijeme izmjene alata: 2753 sekunde (45:53 min).

Vrijeme izmjene alata nakon provedbe prijedloga 1 i 2: 1931 sekunda (32:11 min).

Vrijeme izmjene alata nakon provedbe prijedloga 1, 2 i 3: 1641 sekunda (27:21 min).

Implementacijom svih triju prijedloga procijenjeno je da se inicijalno trajanje cijelog procesa izmjene noževa može sniziti s 45:53 minuta na 27:21 minuta, odnosno da je to vrijeme skraćeno za 18,5 minuta.



Slika 48. Matrica isplativosti

Matrica isplativosti sa slike 48 prikazuje predviđeni omjer planiranih ulaganja i uloženog truda za dobivanje prethodno dobivenih rezultata.

Prijedlozi 1 i 2 bazirani su na pretvorbu unutarnjih u vanjske aktivnosti tijekom izmjene alata, tj. na eliminaciji gubitaka te smanjenju aktivnosti koje ne dodaju vrijednost.

Njihova implementacija obuhvaća kratkotrajnu edukaciju zaposlenika te manje promjene u preraspodjeli njihovih poslova.

Prijedlog 3 je baziran na optimizaciji onih aktivnosti koje dodaju vrijednost, a njegova implementacija obuhvaća nabavku radnih kolica.

Dodatne uštede i smanjivanje broja krivih radnji se očekuju pripremom plana slaganja reznih noževa i čeličnih distancera unaprijed, jednostavnim redanjem tih elemenata jednog za drugim na radnim kolicima još za vrijeme rada stroja, čime se stvara standardizirani oblik rada koji može biti dodatno potkrijepljen određenim poka-yoke napravama prema željama operatera.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu naglasak je bio na korištenju lean alata slijedeći DMAIC pristup Lean Six Sigma metodologije kako bi se proveo projekt koji za cilj ima doprinijeti kontinuiranom poboljšanju u hrvatskom poduzeću Končar D&ST.

Nakon prikazanih Lean Six Sigma alata koji se u takvom projektu mogu koristiti, provedena je u skladu s DMAIC procesom SMED analiza jednog radnog mjesta unutar poduzeća.

Nakon višestrukih snimanja odabranog procesa izmjene alata dobivena je reprezentativna slika o trajanjima pojedinih aktivnosti koje zaposlenik na promatranom radnom mjestu izvršava na svakodnevnoj bazi.

Ustanovljeno je kako se lean razmišljanjem može sniziti trajanje izmjene alata na odabranom stroju za iznos veći od 40%, odnosno s 2753 sekunde (45:53 min) na 1641 sekunde (27:21 min).

S obzirom na činjenicu da se odabrani proces izmjene alata prosječno vrši tri puta unutar jedne smjene, to bi značilo kako je moguća ušteda vremena na ovom radnom mjestu 55,5 minuta unutar smjene, odnosno preko 11% jedne radne smjene.

Daljnjim takvim projektima i na ostalim radnim mjestima otvara se mogućnost povećanja proizvodnih kapaciteta bez značajnih financijskih ulaganja, već samo korištenjem lean alata i lean načinom razmišljanja. Dugotrajnim slijeđenjem takvog pristupa poduzeće će profitirati kontinuiranim poboljšanjem i zadržavanjem izvrsnosti u poslovanju.

LITERATURA

- [1] Nastanak vitke metodologije:
<https://www.autonews.com/article/20130923/OEM02/309239967/eiji-toyoda-s-rouge-trip-changed-auto-history>, Pristupljeno: 10. ožujka 2021.
- [2] Štefanić, N. Predavanja iz kolegija Osnove menadžmenta: LEAN. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2012.
- [3] Womack JP, Jones DT, Roos D. The Machine That Changed the World. Free Press; 1990.
- [4] Lekšić I. Model izbora vitkih alata pri restrukturiranju poduzeća [doktorski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [5] Božić T. Standardizacija procesa ispitivanja ispravnosti rada transformatora [diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2016.
- [6] 5S vitki alat: <https://www.mt.com/hr/hr/home/library/guides/laboratory-weighing/5S-audit.html>, Pristupljeno: 12. ožujka 2021.
- [7] Poka-yoke alat: <https://pdcahome.com/english/124/poka-yoke-a-method-to-create-a-safe-design/>, Pristupljeno: 12. ožujka 2021.
- [8] SMED metodologija: <https://www.leanproduction.com/smed.html>, Pristupljeno: 10. ožujka 2021.
- [9] SMED metodologija: <https://www.leanproduction.com/smed.html>, Pristupljeno: 13. ožujka 2021.
- [10] Hegedić M. Model upravljanja proizvodnjom integriranjem vitkoga i zelenoga menadžmenta [doktorski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2017.
- [11] Lazibat T, Baković T. Šest Sigma sustav za upravljanje kvalitetom [izvorni znanstveni rad]. 2007.; UDK/UDC: 658.5.012.7
- [12] Lazić M. Šest Sigma – fantazija, zabluda ili činjenica?; U: Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije: Festival kvaliteta 2005., 32. Nacionalna konferencija o kvalitetu; Kragujevac, Srbija, 19.-21.5.2005. Kragujevac: Mašinski fakultet u Kragujevcu; 2005.
- [13] Alagić I. Primjena Lean Six Sigma alata sa ciljem otklanjanja uskih grla u proizvodnji u konkretnim radnim uslovima firme iz Bosne i Hercegovine [pregledni rad]. U: 19. međunarodni simpozij o kvaliteti: Kvaliteta kao razvojni koncept; Plitvička jezera, Hrvatska, 21.-23.3.2018.; UDK/UDC: 005.6:621.7; TRA Agencija za razvoj općine Tešanj, Univerzitet u Zenici, Tešanj/Zenica/Sarajevo, BiH, 2018.

- [14] Barney M. Motorola's Second Generation. U: Six Sigma Forum Magazine, American Society for Quality; 2002.
- [15] Bošnjak J, Pavičić M. Lean Six Sigma Green Belt obrazovni program. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [16] Uloge prema Lean Six Sigma metodologiji: <https://www.ssdntech.com/blog/what-are-the-top-reasons-why-you-should-get-a-six-sigma-certification/>, Pristupljeno: 5. ožujka 2021.
- [17] Buntak B. Implementacija Lean Six sigma metodologije u proizvodno poduzeće [diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2019.
- [18] Dujak D. Dizajn opskrbnog lanca i logistike – zahtjevi za implementaciju lean i agilnog opskrbnog lanca [prezentacija]: <https://en.ppt-online.org/836448>, Pristupljeno: 13. ožujka 2021.
- [19] DMAIC proces: <https://kanbanzone.com/resources/lean/lean-six-sigma/dmaic-5-phase-lean-six-sigma-process-improvement/>, Pristupljeno: 2. ožujka 2021.
- [20] Watson GH. ESTIEM Lean Six Sigma Green Belt Course online materials, 2018.
- [21] Gudžević Z. Simulacija procesa distributivnog centra [diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2018.
- [22] Čelar D, Valečić V, Željezić D, Kondić Ž. Alati za poboljšavanje kvalitete [stručni članak]. U: Technical journal 8, 3(2014), 258-268; ISSN 1846-6168 UDK 65.012.4; Sveučilište Sjever - Sveučilišni centar Varaždin; 2014.
- [23] Pareto dijagram: <https://toughnickel.com/business/Pareto-Chart-Continuous-Process-Improvement>, Pristupljeno: 25. veljače 2021.
- [24] Definicija Pareto dijagrama: <http://struna.ihj.hr/naziv/paretov-dijagram/12288/>, Pristupljeno: 25. veljače 2021.
- [25] Predavanja iz kolegija Osnove statistike. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet
- [26] Mijoč J. Predavanja iz kolegija Statistička analiza poslovnih podataka: Deskriptivna statistika SPSS. Osijek: Ekonomski fakultet; 2017.
- [27] Kovačić G, Kondić Ž. Statistička analiza sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije [stručni članak]. U: Tehnical journal 6, 2(2012), 191-198; ISSN 1864-6168 UDK 62; Sveučilište u Varaždinu; 2012.
- [28] Valjak M. Metodologija poboljšavanja kvalitete „6 sigma“ [završni projekt]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2007.
- [29] Končar D&ST: http://www.koncar-dst.hr/hr/o_nama, Pristupljeno: 17. ožujka 2021.

-
- [30] Končar D&ST, Poljska: Nerevidirani konsolidirani polugodišnji izvještaj za period 01.01.2020. - 30.06.2020. grupe Končar D&ST
- [31] Končar D&ST: Godišnje izvješće (interni materijali)
- [32] Transformator: <https://www.cbsa-asfc.gc.ca/sima-lmsi/i-e/ad1395/ad1395-i12-de-eng.html>, Pristupljeno: 18. ožujka 2021.
- [33] Pajić D. Predavanja iz kolegija Praktikum fizike: Transformator. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet
- [34] Magnetna jezgra transformatora: <https://nicoreindia.com/transformer-cores-assembled-laminated-sheets/>, Pristupljeno: 18. ožujka 2021.
- [35] Končar D&ST, Interni materijali