

Analiza primjene Lean i Šest sigma metodologije u proizvodnim poduzećima

Bralić, Ante

Undergraduate thesis / Završni 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:235:812081>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-02**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ante Bralić

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Student:

Ante Bralić

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Hrvoju Cajneru na pruženoj pomoći, stručnom vodstvu i korisnim savjetima pri izradi završnog rada.

Zahvaljujem se gospodinu Ivici Zagorecu iz poduzeća Končar – Energetski transformatori d.o.o. na izdvojenom vremenu i ustupljenim informacijama.

Veliko hvala mojoj obitelji i djevojci na bezuvjetnoj podršci i potpori tijekom cijelog preddiplomskog studija.

Ante Bralić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ante Bralić** Mat. br.: 0035200902

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza primjene Lean i Šest sigma metodologije u proizvodnim poduzećima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the application of Lean and Six sigma methodologies in manufacturing companies**

Opis zadatka:

Proces je moguće poboljšati primjenom različitih metoda i alata koje su obično sažete u jednu od dostupnih metodologija. Metodologije „Lean“ i „Šest sigma“ se specifično fokusiraju na određene, zasebne značajke procesa. Pa tako je „Lean“ metodologija usmjerena ka uklanjanju nepotrebnih aktivnosti i redukciji vremena koje ne pridonosi stvaranju dodatne vrijednosti, dok se „Šest sigma“ metodologija fokusira na uklanjanje nesukladnosti i direktno povećanje kvalitete proizvoda. Potreba za sinergijskim učinkom ove dvije metodologije sve više je prisutna te je s tim u vezi razvijena Lean i Šest sigma metodologija (LSS). Potreba za kontinuiranim poboljšanjem procesa te istovremenim povećanjem kvalitete proizvoda čini proizvodna poduzeća značajnim korisnicima LSS metodologije.

U radu je potrebno:

1. Detaljno opisati strukturu LSS metodologije.
2. Istražiti dostupne izvore te analizirati zahtjeve, metriku i dobivene rezultate primjene LSS metodologije u poduzećima u posljednjih nekoliko godina. Posebice se potrebno fokusirati na proizvodna poduzeća koja djeluju u Republici Hrvatskoj i ostatku EU.
3. Usporediti učinkovitost primijenjene metodologije preko ključnih pokazatelja za odabrana poduzeća.

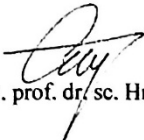
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenoga 2020.

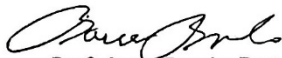
Datum predaje rada:
1. rok: 18. veljače 2021.
2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 22.2. – 26.2.2021.
2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:


Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Cajner

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. LEAN I ŠEST SIGMA METODOLOGIJA.....	2
2.1. Lean metodologija.....	3
2.1.1. Principi Lean-a.....	3
2.1.2. Tipovi gubitaka u Lean metodologiji.....	4
2.1.3. Alati Lean metodologije	5
2.1.3.1. Kaizen	5
2.1.3.2. 5S metoda.....	6
2.1.3.3. Mapiranje toka vrijednosti – VSM (eng. value stream mapping).....	7
2.1.3.4. Single-minute exchange of dies (SMED)	9
2.2. Šest sigma metodologija	10
2.2.1. Uloge unutar Šest Sigma metodologije.....	11
2.2.2. Ključni pokazatelji uspješnosti	13
2.2.3. DMAIC pristup	14
2.2.3.1. Definiranje	15
2.2.3.2. Mjerenje	17
2.2.3.3. Analiza	20
2.2.3.4. Poboljšanje.....	21
2.2.3.5. Kontrola	23
2.3. Sinergija Lean i Šest Sigma metodologija	24
2.4. Zastupljenost LSS-a u proizvodnji.....	25
3. PRIMJERI PRIMJENE U PROIZVODNIM PODUZEĆIMA	27
3.1. Proizvodno poduzeće A	27
3.1.1. Faza definiranja.....	27
3.1.2. Faza mjerenja	29
3.1.3. Faza analize.....	32
3.1.4. Faza poboljšanja.....	33
3.1.5. Faza kontrole.....	35
3.1.6. Rezultati	35
3.2. Proizvodno poduzeće B	37
3.2.1. Faza definiranja.....	37
3.2.2. Faza mjerenja	39
3.2.3. Faza analize.....	40
3.2.4. Faza poboljšanja.....	42

<i>Ante Bralić</i>	<i>Završni rad</i>
3.2.5. Faza kontrole.....	42
3.2.6. Rezultati	43
3.3. Proizvodno poduzeće C	45
3.3.1. Projekti unaprjeđenja	46
3.3.2. Rezultati	52
4. USPOREDBA REZULTATA	57
5. ZAKLJUČAK.....	60
LITERATURA.....	61

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Lean Šest Sigma [2]	2
Slika 2.2. Principi Lean-a	3
Slika 2.3. Koncept Kaizen radionice	6
Slika 2.4. Primjer VSM-a [4]	8
Slika 2.5. Primjer SMED-a [5]	10
Slika 2.6. Opći primjer SIPOC mape	16
Slika 2.7. Primjer dijagrama toka procesa [1]	17
Slika 2.8. Pareto dijagram [8]	18
Slika 2.9. Pravokutni dijagram [9]	18
Slika 2.10. Iznosi indeksa sposobnosti procesa [11]	19
Slika 2.11. Dijagram uzrok-posljedica [8]	20
Slika 2.12. Proces kreativnog dijaloga [1]	22
Slika 2.13. Matrica uloženog truda i dobiti	22
Slika 2.14. LSS metodologija u proizvodnji [12]	25
Slika 3.1. Tijek proizvodnog procesa [13]	28
Slika 3.2. SIPOC mapa [13]	28
Slika 3.3. Povelja o projektu [13]	29
Slika 3.4. Mapa trenutnog stanja procesa [13]	30
Slika 3.5. Kategorizacija aktivnosti na VA i NVA [13]	31
Slika 3.6. Ukupno trajanje svih VA i NVA aktivnosti [13]	31
Slika 3.7. Dijagram uzrok-posljedica [13]	32
Slika 3.8. Defekti na proizvodu i njihova učestalost [13]	32
Slika 3.9. Pareto dijagram [13]	33
Slika 3.10. Analiza potencijalnih problema PPA [13]	34
Slika 3.11. Povelja o projektu [14]	38
Slika 3.12. Zahtjevi kupca transformirani u CTQ karakteristike [14]	39
Slika 3.13. Prosječna pripremno – završna vremena stroja [14]	39
Slika 3.14. Dijagram uzrok-posljedica za pripremno – završno vrijeme stroja [14]	40
Slika 3.15. Dijagram uzrok-posljedica za unutarnji promjer [14]	41
Slika 3.16. Iznosi unutarnjeg promjera ovisno o temperaturi [14]	41
Slika 3.17. Projekt „Tempel“ [15]	46
Slika 3.18. Osnovna spoznaja o procesu [15]	48
Slika 3.19. Podjela uloga za provedbu projekta [15]	49
Slika 3.20. Primjena 5S [16]	50
Slika 3.21. Projekt Top+ [15]	51
Slika 3.22. Rezultati primjene SMED metode [15]	52
Slika 3.23. Promjena PCT indeksa u razdoblju 1999. -2012. [16]	54
Slika 3.24. Odnos broja zaposlenih i MVA/broj zaposlenika [15]	54

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Broj defekta za razinu Sigme[6].....	11
Tablica 2.2. Simulirani primjer analize potencijalnih problema PPA.....	21
Tablica 2.3. Doprinosi Lean-a i Šest Sigme u sinergiji.....	24
Tablica 3.1. Rezultati primjene LSS-a [13].....	36
Tablica 3.2. Usporedba KPI za poduzeće B [14]	44
Tablica 3.3. Rezultati projekta „Tempel“ [15].....	53
Tablica 3.4. Rezultati jednog projekta u sklopu Sigma+ [16].....	55
Tablica 4.1. Usporedba ključnih pokazatelja uspješnosti za odabrana poduzeća [13] [14] [15]	57
Tablica 4.2. Korišteni alati [13] [14] [15]	59

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
CTQ	Kritično (ključno) za kvalitetu (eng. <i>Critical To Quality</i>)
DMAC	Definiranje, Mjerenje, Analiziranje, Kontrola (eng. <i>Define, Measure, Analyze, Control</i>)
DMADV	Definiranje, Mjerenje, Analiziranje, Dizajniranje, Verificiranje (eng. <i>Define, Measure, Analyze, Design, Verify</i>)
DMAIC	Definiranje, Mjerenje, Analiziranje, Poboljšanje, Kontrola (eng. <i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>)
DOE	Dizajn pokusa (eng. <i>Design Of Experiments</i>)
DPMO	Defekti na milijun prilika (eng. <i>Defects Per Million Opportunities</i>)
DPU	Defekti po jedinici (eng. <i>Defects Per Unit</i>)
FPY	Prinos prvog prolaza (eng. <i>First Pass Yield</i>)
KPI	Ključni pokazatelji uspješnosti (eng. <i>Key Process Indicators</i>)
KPP	Kontinuirano poboljšanje procesa
KPT	Končar – Energetski transformatori d.o.o. (eng. <i>Končar – Power Transformers Ltd.</i>)
LSS	Lean Šest Sigma (eng. <i>Lean Six Sigma</i>)
MVA	Megavoltamper
NJ	Novčana jedinica
NVA	Nedodajuća vrijednost (eng. <i>Non Value Adding</i>)
NVAT	Vrijeme koje ne dodaje vrijednost (eng. <i>Non Value Adding Time</i>)
OOČ	Obrada odvajanjem čestica
OEE	Ukupna učinkovitost opreme (eng. <i>Overall Equipment Efficiency</i>)
OTD	Isporuka na vrijeme (eng. <i>On Time Delivery</i>)
PCT	Vrijeme ciklusa proizvodnje (eng. <i>Production Cycle Time</i>)
PPA	Analiza potencijalnih problema (eng. <i>Potential Problem Analysis</i>)
SMED	Brza izmjena alata (eng. <i>Single Minute Exchange of Dies</i>)
VA	Dodajuća vrijednost (eng. <i>value adding</i>)
VAT	Vrijeme koje dodaje vrijednost (eng. <i>Value Adding Time</i>)
VSM	Mapiranje toka vrijednosti (eng. <i>Visual Stream Mapping</i>)
W	Gubici (eng. <i>Waste</i>)
WT	Vrijeme gubitaka (eng. <i>Waste Time</i>)

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis
σ	Standardna devijacija
C_p	Indeks sposobnosti procesa

SAŽETAK

U ovom radu analizirana je primjena Lean i Šest Sigma metodologije u proizvodnim poduzećima. Prvo je definirana Lean Šest Sigma metodologija kao kombinacija Lean-a i Šest Sigme. Zatim je predstavljena zasebno Lean metodologija, ključni principi i gubici te pojedini alati kojima se koristi. Nakon toga je objašnjena Šest Sigma metodologija te je objašnjena primjena iste kroz DMAIC metodu. Navedeni su alati koji se koriste kroz DMAIC te su dani razlozi kombiniranja Lean-a i Šest Sigme. Na kraju je prikazana učinkovitost primijene Lean Šest Sigma metodologije u jednom svjetskom, europskom i hrvatskom proizvodnom poduzeću te su uspoređeni dobiveni rezultati preko ključnih pokazatelja uspješnosti.

Ključne riječi: Lean, Šest Sigma, Lean Šest Sigma, DMAIC, proizvodna poduzeća, ključni pokazatelji uspješnosti

SUMMARY

In this paper the application of Lean and Six Sigma methodology in manufacturing companies is analyzed. Lean Six Sigma is defined first as the combination of both Lean and Six Sigma methodologies. Then Lean methodology alone has been defined, its key principles, wastes and particular tools. After that Six Sigma methodology has been explained and its application within DMAIC method. Tools which are being used in DMAIC are specified and reasons for combining Lean and Six Sigma have been pointed out. At the end, the effectiveness of Lean Six Sigma application is shown in one world, european and croatian manufacturing company and given results are compared over key process indicators.

Key words: Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, DMAIC, manufacturing companies, key process indicators

1. UVOD

U današnjem svijetu se pred proizvodna poduzeća stavljaju sve veći i teži zahtjevi. Kako se svijet razvija tako raste potreba za mnogim dijelovima, objektima, sklopovima, uređajima i uslugama općenito, a koji postaju nužni za izvršavanje svakodnevnih zadataka sa kojima se ljudi, u privatnom i poslovnom svijetu, susreću. Sve veća potražnja iziskuje veću i bržu proizvodnju spomenutog, a uz to kupci zahtijevaju da željeni proizvod bude najbolje moguće kvalitete, no opet da je cjenovno pristupačan. Imajući u vidu navedene zahtjeve, proizvodne firme nastoje svoju proizvodnju organizirati na takav način da zadovolje iste. Pored težnje za što manjim troškovima, proizvodna poduzeća nastoje i minimizirati opterećenje kako radnika tako i strojeva uz što bržu i jednostavniju prilagodbu na moguće promjene u željama kupaca na način koji će rezultirati jednakim ili većim profitom. Postoji više načina da jedno proizvodno poduzeće ostane konkurentno na tržištu i zadovolji zahtjeve kupaca, a na kraju poveća profit. Naravno, jedan od načina da se poveća profit je povećanje prodajnih cijena, ali tu leži opasnost u tome da kupac odabere proizvod konkurentske tvrtke koja nude sličnu kvalitetu, a manju cijenu. Drugi način može biti nabavka bolje opreme gdje se smanjuje vrijeme proizvodnje uz kvalitetniji proizvod, ali to dovodi do većih troškova same proizvodnje što opet umanjuje mogućnost postizanja većeg profita. Kako bi proizvodne firme povećale profit i ostale konkurentne okreću se analizi vlastitih proizvodnih procesa te na temelju provedenih analiza traže prostor za moguća poboljšanja.

Jedna od mogućih metoda poboljšanja proizvodnih procesa, a da pritom ne generira velike troškove je Lean Six Sigma metodologija (LSS) koja kombinira prednosti dvije metodologije – Lean-a i Šest (eng. *Six*) Sigme, međutim ona zahtijeva određen napor u samoj implementaciji u proizvodno poduzeće. U nastavku rada bit će opisana sama metodologija, na kojim principima se temelji i koji se alati koriste prilikom provođenja iste. Nakon toga će se prikazati učinkovitost provedbe te metodologije na primjerima svjetskog, europskog i hrvatskog poduzeća.

2. LEAN I ŠEST SIGMA METODOLOGIJA

Svako proizvodno poduzeće koje želi biti uspješno odnosno poslovati sa profitom nastoji kontinuirano ulagati u svoje poslovanje. Kontinuirano unaprjeđenje je općenito težnja svake kompanije (ne samo proizvodne) da postignu visoku razinu kvalitete, izvrsnost i visoke performanse. Samo da firma ostane na istoj razini je potrebno provoditi unaprjeđenja. Kako bi se proces ili proizvod mogao unaprijediti potrebno je prvo razumjeti trenutno stanje, a zatim se trenutno stanje uspoređuje sa željenim. Poznavanje trenutnog stanja je ključan faktor jer daje razumijevanje koje je razlike između trenutnog i željenog potrebno savladati, gubitke eliminirati ili neučinkovitost smanjiti. [1] Za razumijevanje trenutnog stanja i unaprjeđenja nužan je sistematičan i strukturiran pristup, a takav pristup daje Lean i Šest Sigma metodologija. Sam naziv sugerira da se zapravo radi o dvije metodologije integrirane u jednu – Lean metodologije i Šest Sigma metodologije.



Slika 2.1. Lean Šest Sigma [2]

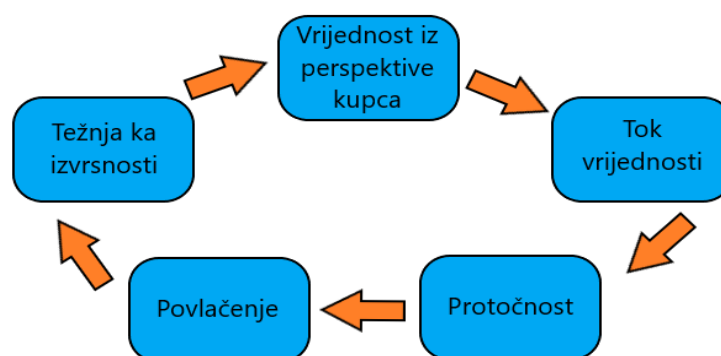
Na slici 2.1. je simbolički prikaz nastanka LSS metodologije kombiniranjem Lean-a i Šest Sigme. LSS je zapravo filozofija unaprjeđenja koja se fokusira radije na sprječavanje pojave defekata nego na uočavanje („bolje spriječiti nego liječiti“). Temelji se na činjenicama i podacima, a želi osigurati zadovoljstvo kupaca reduciranjem varijacija i gubitaka koristeći standardizirani rad i tok. Primjenjuje se tamo gdje postoje varijacije i gubici te svi zaposlenici moraju biti uključeni. [3] Obje metodologije unutar LSS-a nastoje kupcima pružiti najbolju moguću kvalitetu, cijenu i isporuku. Upravo zbog navedenog istog cilja postoji preklapanje obje metodologije, ali one pristupaju ispunjavanju svoje svrhe sa drugačijih stajališta. Lean metodologija se više fokusira na uklanjanje gubitaka u procesu i uspostavljanju toka, dok se Šest Sigma fokusira na smanjenje varijacija u procesu. Svaka metodologija prema prethodno navedenom donosi vlastite tehnike, metode i alate koji se međusobno nadopunjavaju, a za njihovo razumijevanje potrebno je poznavanje obje metodologije koje će biti objašnjene u nastavku.

2.1. Lean metodologija

Lean metodologija je metodologija koja je fokusirana na uklanjanje gubitaka iz procesa na način da se kroz kontinuirano unaprjeđenje i uključivanje svih zaposlenika prepoznaju i eliminiraju u procesu sve aktivnosti koje ne donose vrijednost sa stajališta kupca. Prethodno napisano se onda može primijeniti i na proizvodnju. To znači da se primjenom Lean-a želi postići proizvodnja u točno određenoj količini i sa točno određenim značajkama kakve kupac želi, a da se pritom, uz zadovoljstvo kupca, postigne što veći profit. Kako bi se tako nešto ostvarilo važno je usvojiti određene principe razmišljanja, a upravo se na tim principima temelji Lean proizvodnja.

2.1.1. Principi Lean-a

Postoji pet osnovnih principa na kojima se Lean proizvodnja temelji, a usvajanje svakog principa je ključno za provođenje Lean metodologije. Osnovni principi su prikazani na slici 2.2.



Slika 2.2. Principi Lean-a

U slučaju Lean proizvodnje vrijednost proizvoda definira kupac, a ne proizvođač. Glavno pitanje koje se tu postavlja je pridonosi li neka aktivnost unutar proizvodnog procesa zadovoljstvu kupca, odnosno je li ju kupac spreman platiti. Ako kupac nije spreman platiti tu aktivnost pitanje je zašto se ta aktivnost uopće provodi ako ona ne donosi zadovoljstvo kupca i nije ju spreman platiti. Ovakav način razmišljanja dovodi do podjele aktivnosti unutar proizvodnog procesa na one koje dodaju vrijednost proizvodu i one koje proizvodu ne dodaju vrijednost. Aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu (eng. *value-adding*) su sve one transformacijske aktivnosti koje dovode kupčev proizvod u potpuniji i kompletniji oblik koji je on spreman platiti. [4] Takve aktivnost se označavaju sa VA, a njihovo trajanje sa VAT (eng. *value-adding time*). Suprotno tome, sve one aktivnosti koje ne povećavaju vrijednost odnosno

kupac nije spreman platiti (npr. skladištenje) su sve one koje ne dodaju vrijednost. Sve aktivnosti koje kupac nije spreman platiti se dalje mogu podijeliti na one koje ne dodaju vrijednost ali su nužne i one aktivnosti koje su čisti gubitak. Nužne aktivnosti koje ne dodaju vrijednost se označuju sa NVA (eng. *non-value adding*), a sukladno tome se njihovo trajanje označava sa NVAT (eng. *non-value adding time*). Aktivnosti koje su čisti gubitak se mogu označiti sa W (eng. *waste*), a njihovo trajanje se uobičajeno označava sa WT (eng. *waste time*). Sljedeće bitno načelo Lean proizvodnje je uspostavljanje toka vrijednosti. Tok vrijednosti predstavlja cjelokupan tok aktivnosti od trenutka kada je kupac naručio proizvod do trenutka isporuke, a svaka aktivnost je kategorizirana prema tome dodaje li ili ne dodaje vrijednost proizvodu. Prema tom prikazu se može lagano vidjeti koliki je udio svih tipova aktivnosti što pridonosi lakšem uočavanju mogućeg prostora za napredak.

Treći bitan princip je protočnost proizvodnoga procesa. Težnja je uspostaviti neprekinuti tok kroz proces bez ikakvih zastoja, nepotrebnog čekanja, vraćanja na prethodne operacije i isključenja.

Na protočnost se odmah nadovezuje i princip povlačenja. Pod pojmom povlačenje u kontekstu proizvodnje se misli na izvođenje aktivnosti na način da se radi samo ono što zahtjeva iduća aktivnost, ni više ni manje. Primjenom tog načela nastoji se eliminirati nepotreban rad u procesu.

Zadnji princip na kojem se temelji Lean metodologija je težnja ka savršenstvu. Potrebno je neprekidno usavršavanje te je bitno imati na umu da se uvijek može bolje. Tu je važno napomenuti da se nastoji postići učinkovitiji i jednostavniji rad koristeći što je moguće manje resursa.

2.1.2. Tipovi gubitaka u Lean metodologiji

Ranije je spomenuto da Lean metodologija teži smanjenju i uklanjanju gubitaka u proizvodnji. Kako bi se uklonili gubici prije svega je potrebno razumjeti što ustvari predstavlja gubitak. Prema principu uspostave toka vrijednosti kroz proces sve aktivnosti u procesu se gledaju kroz kriterij donose li ili ne donose vrijednost. Svaka aktivnost koja ne donosi vrijednost proizvodu predstavlja gubitak odnosno rasipanje (eng. *waste*, jap. *muda*). Prema Lean-u postoji osam vrsti gubitaka koji se pojavljuju općenito, pa tako i u proizvodnji:

- Prekomjerna proizvodnja – stvaraju se proizvodi koji se ne mogu plasirati na tržište, izvode se operacije koje nisu potrebne, stvara se višak dokumentacije

- Transport – dolazi do nepotrebnog kretanja materijala između operacija ili unutar skladišta, loš raspored pojedinih operacija, loša komunikacija i transport informacija
- Čekanje – čekanje materijala između operacija, čekanje radnika za pojedinim strojem, kašnjenje sirovina, čekanje potrebnih podataka ili informacija
- Nepotrebni pokreti – strojevi su loše raspoređeni u prostoru, moraju se ručno ispravljati pojedine greške na proizvodima
- Zalihe – prekomjerno stvaranje zaliha, gomilanje materijala u skladištu
- Prekomjerna obrada – predimenzionirani strojevi, obrada je previše detaljna, loš dizajn proizvoda
- Škart – prekid toka zbog grešaka, nepotrebna vremena i troškovi, nepotpune i netočne informacije
- Nedovoljno korištenje potencijala radnika – ne uvažavanje i slušanje radnika i njihovih ideja

2.1.3. Alati Lean metodologije

Navedeni oblici rasipanja mogu značajno utjecati i na kvalitetu proizvoda i na vrijeme isporuke. Ako je kupac naručio neki proizvod u određenoj seriji od primjerice tisuću komada, jedna nepotrebna operacija ili možda samo par nepotrebnih pokreta može produžiti vrijeme izrade za jednu minutu, a ponavljanjem toga kroz proizvodnju cijele serije dolazi se do značajnog produženja vremena izrade te na kraju i vremena isporuke. U današnjem užurbanom svijetu svim potrošačima i kupcima je važno dobiti traženi proizvod što je moguće prije (naravno mora biti i tražene kvalitete) te određena kašnjenja ili neispravne proizvode neće biti spremni platiti, a firmi to onda predstavlja manji prihod. Zbog toga je, nakon identifikacije oblika gubitaka, potrebno i otkloniti te gubitke. Lean metodologija se koristi brojnim alatima kako bi se oni uklonili ili minimalizirali, a u nastavku će biti objašnjeni alati koji su se koristili u analiziranim primjerima u poglavlju 3.

2.1.3.1. Kaizen

Kaizen predstavlja pristup kod kojeg se teži stalnim poboljšanjima poslovnih procesa na način da se nastoji uključiti radnike na svim razinama poduzeća i poticati ih na svakodnevna poboljšanja. Jedna od najvećih prednosti Kaizena je upravo to što nastoji uključiti sve

zaposlenike, a Kaizen radionice se organiziraju za svaku razinu poduzeća. Kaizen radionice se provode na sljedeći način:

- Definiranje problema
- Određivanje i analiza trenutnog stanja
- Iznošenje ideja za moguća poboljšanja
- Odabir najboljih ideja
- Definiranje plana provedbe novih mjera
- Definiranje mjernih pokazatelja
- Plan provedbe



Slika 2.3. Koncept Kaizen radionice

Na slici 2.3. je prikazan koncept Kaizen radionice. Bitno je naglasiti da se na Kaizen radionicama nastoji da svaki zaposlenik može slobodno ukazati na probleme koje je uočio ili priznati pogrešku, odnosno ne traži se krivac već rješenje za ukazane probleme te je fokus na rješavanju problema.

2.1.3.2. 5S metoda

5S je metoda koja potiče urednost, čistoću i red na radnom mjestu tj. drugim riječima organizira radni prostor nastojeći eliminirati gubitke koji su rezultat neadekvatne organizacije radnog mjesta. Ova metoda obuhvaća pet radnji:

- Sortiranje

- Stavljanje u red
- Čišćenje
- Standardizacija
- Održavanje

Prva radnja koja se primjenom 5S alata obavlja je sortiranje. Ovim prvim korakom se nastoje identificirati sve stvari i alate koji su nepotrebni za rad te ih maknuti iz radnog prostora. Isto tako se izdvajaju alati koji se često koriste i oni koji nisu toliko često u uporabi. Oni koji se ne koriste često odvajaju se u zasebne spremnike da ne smetaju tijekom svakodnevnih aktivnosti i operacija.

Drugi korak u provođenju 5S alata je uspostavljanje reda. Time se misli na to da alati i materijali koji se često koriste trebaju biti blizu mjesta korištenja da se ne gubi vrijeme na traženje. Isto tako bi alati trebali biti poredani obzirom na redoslijed korištenja, a ako se neki alate koriste zajedno, onda bi trebali biti i zajedno spremljeni.

Treći korak je redovito čišćenje radnog mjesta. Prema Lean metodologiji radno mjesto mora biti čisto i uredno. Moguća prljavština i otpad u prostoru rada nisu prihvatljivi. [4]

Četvrti korak je standardizacija. Pod pojmom standardizacija se misli na to da prethodno navedeni koraci moraju postati standardni odnosno usađeni u ponašanje radnika na radnom mjestu. Često se ovaj korak provodi pisanjem standardnih uputa kako bi radnici konstantno bili podsjećani na organizaciju radnog mjesta.

Posljednji korak je održavanje. Cilj je da se radnici ne drže samo pisanih uputa nego da provode organizaciju radnog mjesta neovisno o situacijama u kojima se nalaze.

Općenito govoreći 5S je dosta jednostavna metoda koji se može relativno lako provesti, a rezultati provedbe su odmah vidljivi. Poanta nije samo čistoća radnog mjesta nego novi način ophođenja prema radnom mjestu i općenito poslovanju. [4]

2.1.3.3. Mapiranje toka vrijednosti – VSM (eng. value stream mapping)

Svaki proces se sastoji od niza aktivnosti koje dodaju i ne dodaju vrijednost tako da se može reći da je proces lanac vrijednosti. Mapiranjem toka vrijednosti se daje prikaz toka materijala i toka informacija od trena zaprimanja narudžbe do konačne isporuke. Na temelju prikaza postojećeg stanja je onda moguće uočiti gdje se nalaze područja na koja bi trebalo obratiti pažnju za provođenje unaprjeđenja. Također se ovaj alat često koristi i za prikaz budućeg stanja,

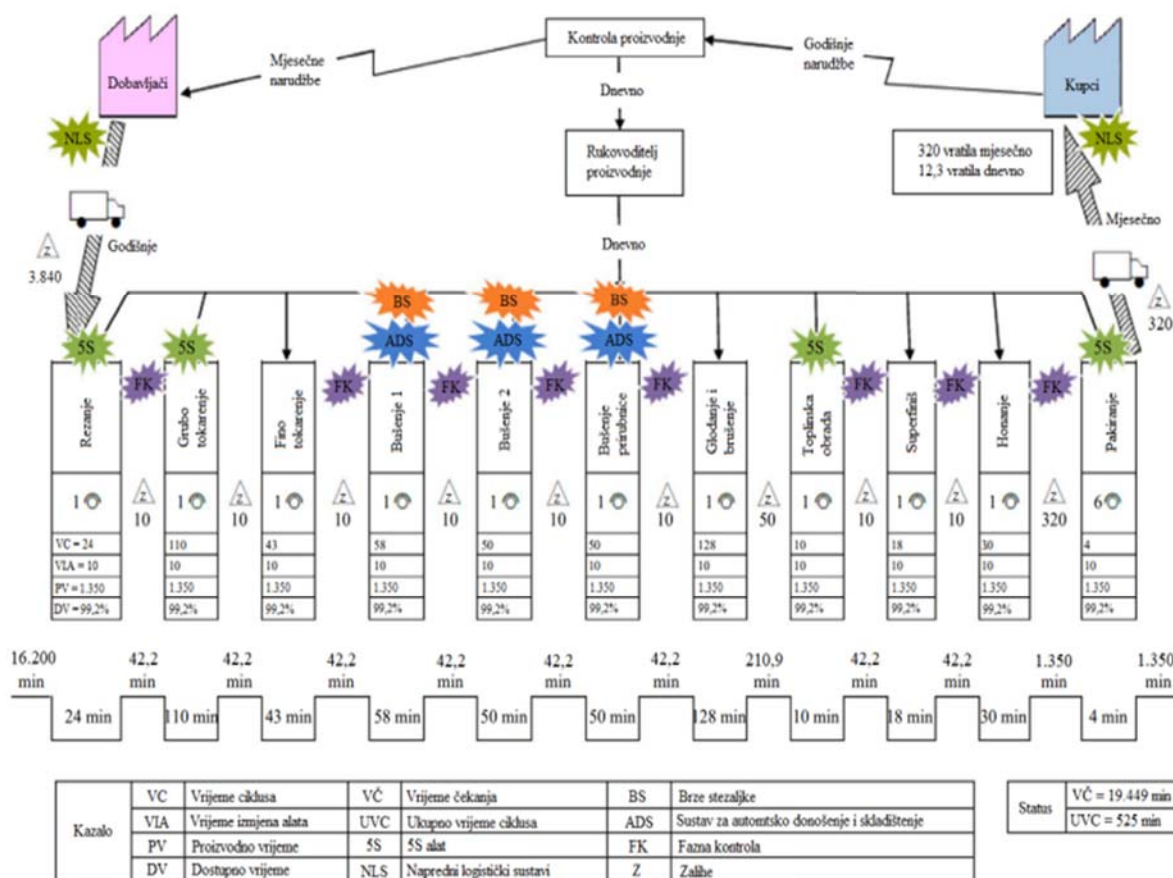
a samim time se može onda napraviti i usporedba koliko se određena aktivnost ili operacija unaprijedila.

Svrha primjene VSM-a:

- daje prikaz veze toka materijala i informacija za neki proizvod
- pomaže pri planiranju unaprijednja
- daje uočljivi prikaz aktivnosti koje dodaju i ne dodaju vrijednost

Koraci pri mapiranju toka vrijednosti :

- identifikacija proizvoda (ili grupe proizvoda)
- prikazivanje postojećeg toka vrijednosti
- prikazivanje budućeg toka vrijednosti
- razvoj i provođenje plana za unaprijednje



Slika 2.4. Primjer VSM-a [4]

Slika 2.4. prikazuje primjer strukture mapiranja tok vrijednosti te se na slici može vidjeti kako se korištenjem VSM-a sve aktivnosti i procesi, tokovi materijala i informacija stavljaju na jedno mjesto čime se postiže veća i lakša mogućnost uočavanja mjesta na kojima se mogu ili na

kojima se već javljaju problemi. Bitno je napomenuti da se ovaj alat ne koristi za otklanjanje gubitaka već za uočavanje istih.

2.1.3.4. *Single-minute exchange of dies (SMED)*

SMED je metoda koja se koristi za smanjenje vremena potrebnog za izmjenu pojedine opreme ili alata. Izmjena alata se može definirati kao vrijeme između zadnjeg dobro proizvedenog komada iz određene serije i prvog proizvedenog komada zadovoljavajuće kvalitete iz iduće serije. [4] Temelj SMED-a je grupiranje aktivnosti za izmjenu alata na unutarnje (eng. *internal*) i vanjske (eng. *external*). Unutarnje aktivnosti kod izmjene alata su sve one aktivnosti koje se odvijaju dok stroj ne radi. Suprotno tome, sve aktivnosti kod izmjene alata koje se odvijaju dok stroj radi smatraju se vanjskim aktivnostima. Iz navedenog se može zaključiti da sve unutarnje aktivnosti predstavljaju čisti gubitak kojeg se nastoji ili eliminirati ili reducirati. Način na koji se to može postići je pretvorba što je moguće većeg broja unutarnjih aktivnosti u vanjske. Drugi načini pomoću koji se može smanjiti vrijeme izmjene alata su [4]:

- Uklanjanje potreba za izmjenom alata
- Bolji izbor osiguranja alata
- Bolji sustav podešavanja alata na stroj
- Optimalno čišćenje alata
- Optimalna konstrukcija stroja
- Dobar dizajn proizvoda i alata
- Bolji sustav podešavanja alata na stroj
- Dobra organizacija radnog prostora



Slika 2.5. Primjer SMED-a [5]

Na slici 2.5. je prikazan primjer situacije u kojoj korištenje ove tehnike dolazi do izražaja. Korištenjem SMED-a u Formuli 1 dovelo je do toga da pojedine momčadi obavljaju izmjenu guma za vrijeme utrke u svega nekoliko sekundi.

2.2. Šest sigma metodologija

Kako je LSS metodologija kombinacija dvije zasebne metodologije – Lean-a i Šest Sigme potrebno je za potpuno razumijevanje opisati još Šest Sigma (6σ) metodologiju. Za razliku od Lean-a, Šest Sigma je usmjerena na varijacije u procesu. Sigma u statistici označava standardnu devijaciju. Standardna devijacija u statistici označava veličinu odstupanja od očekivane vrijednosti u grupi podataka (najčešće aritmetičke sredine). Aritmetičkom sredinom promatra se centriranost nekog procesa, a standardnom devijacijom njegovo rasipanje. [6] Dakle, Šest Sigma metodologija se temelji na primjeni statističkih alata za mjerenje odstupanja od očekivane vrijednosti uzimajući činjenicu normalne raspodjele podataka. Ova metodologija se može promatrati i kao sustav za upravljanje kvalitetom koji je usmjeren postizanju kontinuiranog unaprjeđenja koje organizaciju usmjerava na [6]:

- Razumijevanje i upravljanje zahtjevima kupaca
- Usmjeravanje ključnih procesa prema ispunjenju utvrđenih zahtjeva

- Korištenje analize podataka za razumijevanje i minimalizaciju varijacija u ključnim procesima
- Provođenje brzih i konstantnih unaprjeđenja u poslovnim procesima

U okviru metrike Šest Sigma služi za označavanje razine kvalitete. Kada se govori o razini kvalitete Šest Sigma misli se na udio defektnih proizvoda na milijun prilika (eng. *Defects Per Million Opportunities – DPMO*). Postavlja se pitanje što predstavlja defekt. Najjednostavnije rečeno, defekt je određena karakteristika proizvoda ili usluge koja uzrokuje nezadovoljstvo kupca ili nije unutar definiranih granica specifikacije. Tablica 2.1. prikazuje koliki bi bio broj grešaka na milijun prilika ovisno o tome kolika je razina Sigme.

Tablica 2.1. Broj defekta za razinu Sigme[6]

Sigma razina	Broj grešaka na milijun prilika – DPMO	Sukladnost (%)
6	3,4	99,99966
5	233	99,977
4	6 210	99,38
3	66 807	93,32
2	308 537	69,15
1	690 000	30,85

Na temelju podataka prikazanih u tablici 2.1. vidi se da za razinu 6σ DPMO iznosi 3,4 što bi bio iznimno mali udio defektnih proizvoda gledano u kontekstu proizvodnje. Bitno je napomenuti da granice specifikacije postavlja kupac (analogija sa Lean-om – fokus je na kupca).

2.2.1. Uloge unutar Šest Sigma metodologije

Ovisno o poznavanju LSS metodologije i iskustvu sudjelovanja u projektima te provođenjima istih postoji određena podjela uloga. Nazivi za pojedine uloge su preuzeti iz istočnjačkih borilačkih vještina. Ovakva hijerarhijska raspodjela uloga je preuzeta iz Šest Sigma metodologije [7]:

Bijeli pojas

Zaposlenici koji se smatraju bijelim pojasevima nisu prošli nikakvu dodatnu edukaciju vezanu uz Šest Sigma metodologiju. Oni sudjeluju na projektima gdje se provodi Šest Sigma metodologija, ali samo kao podrška.

Žuti pojas

Pod žuti pojas spadaju zaposlenici sa poznavanjem osnova Šest Sigme. Time se smatra da razumiju što je Šest Sigma, zašto se primjenjuje i neke jednostavne alate. Pružaju podršku Zelenim i Crnim pojasevima u provođenju projekata unaprjeđenja.

Zeleni pojas

Zaposlenici koji su zeleni pojasevi su prošli Šest Sigma edukaciju za tu razinu. Posjeduju znanje o statistici i jednostavnijim statističkim alatima, a to znanje primjenjuju za prikupljanje i analizu podataka. Prilikom provođenja projekata unaprjeđenja pružaju podršku crnim pojasevima i nude ideje za moguća rješenja problema, a po potrebi mogu preuzeti vođenje nekog jednostavnijeg projekta.

Crni pojas

Crni pojasevi su zaposlenici koji su prošli dodatnu i temeljitu edukaciju za korištenje alata Šest Sigme. Posjeduju naprednija znanja o statistici i primjeni statističkih alata za analizu procesa u odnosu na zelene pojaseve. Oni su voditelji Šest Sigma timova što znači da su odgovorni za oblikovanje timova te na temelju svojeg znanja i iskustva savjetuju zelene i žute pojaseve. Uz oblikovanje timova njihova zadaća je definiranje projekata, opsega i ciljeva istih te postavljaju vremenski okvir unutar kojeg će se provesti projekt unaprjeđenja. Crni pojasevi su također odgovorni za komunikaciju sa sponzorima projekata i izvještavanje o trenutnom statusu te napretku projekata.

Glavni crni pojas

Glavni crni pojasevi su po svom znanju, iskustvu i stručnosti na vrhu hijerarhije u Šest Sigma metodologiji. Za razliku od ostalih pojaseva oni ne sudjeluju u projektima, ali mogu pomoći usmjeravanjem timova prema rješenju problema. Zbog svog znanja i iskustva glavni crni pojasevi su odgovorni za obuku crnih, zelenih i žutih pojaseva.

Uz navedene uloge u timovima koji provode implementaciju Šest Sigma metodologije, pa tako i LSS-a treba spomenuti i ulogu Šampiona (eng. *Champion*). Tu ulogu općenito imaju menadžeri vrhovne razine koji provode uspostavu LSS projekata u najvažnijim područjima poslovanja. [6] Njihova glavna zadaća je biranje projekata, određivanje ciljeva, osiguranje sredstava te nadgledanje samog projekta.

2.2.2. Ključni pokazatelji uspješnosti

Ključni pokazatelji uspješnosti (eng. *Key Process Indicators – KPI*) su pokazatelji učinkovitosti određenog procesa ili operacije. Učinkovitost označava ostvarivanje planiranih radnji i rezultata. KPI-evi se koriste kao mjera izvedbe procesa ili pojedinih operacija u procesu kako bi se mogli ostvariti ciljevi organizacije. Koji će se KPI koristiti ovisi o tipu organizacije. Za proizvodna poduzeća karakteristično je koristi KPI-eve koji pružaju informacije o trenutnom stanju proizvodnih operacija i cjelokupne proizvodnje općenito. Poželjno je da budu jednostavni (za lakše razumijevanje), lako mjerljivi i usporedivi kroz određeno vremensko razdoblje. U nastavku će biti definirani ključni pokazatelji uspješnosti koji će se spomenuti u ovom radu.

UKUPNA UČINKOVITOST OPREME - OEE

Ukupna učinkovitost opreme (eng. *Overall Equipment Effectiveness*) je indikator učinkovitosti opreme koja uzima u obzir raspoloživost, sposobnost i kvalitetu. Raspoloživost uzima u obzir neplanirane zastoje u radu (npr. kvarovi), a računa se kao omjer radnog vremena proizvodnje i planiranog vremena proizvodnje. Sposobnost opreme uzima u obzir gubitke na brzini odnosno sve one razloge zbog kojih oprema ne radi na maksimalnoj mogućoj brzini (npr. istrošenost opreme). Računa se kao omjer broja proizvedenih komada i radnog vremena u omjeru sa idealnim vremenom ciklusa. Kvaliteta uzima u obzir nesukladne proizvode, a računa se kao omjer ispravnih i ukupnih komada. Sva tri navedena faktora se množe, a njihov umnožak je rezultat učinkovitosti opreme.

PRINOS PRVOG PROLAZA

Prinos prvog prolaza (eng. *First-Pass Yield – FPY*) je ključni pokazatelj uspješnosti koji pokazuje koliki je postotak proizvedenih komada prošao kroz proces bez problema (bez dorade ili odbacivanja). FPY mjeri zapravo koliki je postotak ispravnih komada od ukupnog broja

komada. Uz FPY se odmah može nadovezati i DPU (eng. *Defects Per Unit*) koji suprotno FPY-u pokazuje koliki je udio nesukladnih proizvoda u ukupnom broju proizvoda.

ISPORUKA PROIZVODA NA VRIJEME

OTD (eng. *on-time delivery*) predstavlja KPI kojim se prati koliko je narudžbi isporučeno unutar planiranog vremena ili vremena koje je kupac zadao.

VODEĆE VRIJEME I VRIJEME CIKLUSA

Vodeće vrijeme proizvodnje je vrijeme koje je proteklo od trenutka zaprimanja narudžbe do trenutka isporuke proizvoda kupcu. Vrijeme ciklusa proizvodnje se malo razlikuje te se ono definira kao vrijeme od početka proizvodnje do isporuke kupcu. Vrijeme ciklusa se može pratiti i na nižoj razini u smislu trajanja pojedine operacije u proizvodnom procesu. Navedena vremena se mogu koristiti kao KPI u smislu praćenja rada procesa i usporedbe sa željenim vremenima koja definira kupac.

Uz navedene ključne pokazatelje uspješnosti pojedina poduzeća su pratila i produktivnost i smanjenje troškova. Produktivnost se definira kao omjer dobivenog ishoda obzirom na uložene resurse, radno vrijeme ili novac. Neka od analiziranih poduzeća u ovom radu su navela i koliko je bilo smanjenje troškova zbog primjene LSS metodologije.

2.2.3. DMAIC pristup

Karakteristika Šest Sigma metodologije je projektni pristup prema procesima, odnosno nastoji se procesima smanjiti varijabilnost provođenjem projekata unaprjeđenja. Šest Sigma metodologija pristupa projektima unaprjeđenja na različite načine ovisno o potrebama za poboljšanjima i trenutnom stanju procesa. Takav pristup se primjenjuje i kod LSS-a. Razlikuju se tri pristupa [6]:

- Unaprjeđenje procesa (DMAIC)
- Dizajniranje ili redizajn procesa (DMADV)
- Upravljanje procesom (DMAC)

Svaki tip pristupa osigurava sistematično i strukturirano rješavanje problema i provođenje unaprjeđenja. U ovom radu će se detaljnije objasniti DMAIC metoda jer se ista koristila u primjerima poduzeća koji će biti opisani u poglavlju 3. Kako je već napisano, DMAIC model

se koristi za unaprjeđenje postojećih procesa. Cilj je pronalazak i eliminacija uzroka varijacija koji se javljaju tijekom ili kao rezultat nekog procesa. Postavlja se pitanje u kojim se situacijama primjenjuje DMAIC. U situaciji kada se zna koji je problem i što mu je uzrok te se zna rješenje DMAIC pristup nije potreban. Slično je i kada uzrok nije poznat, ali se zna rješenje te kada rješenje nije poznato, sli je poznat uzrok problema. Situacija u kojoj je DMAIC metodologija potrebna je ona u kojoj niti uzrok, a niti rješenje problema nisu poznati. Čest je slučaj da se neko proizvodno poduzeće odluči unaprijediti proizvodni proces, ali to unaprjeđenje ne bude u skladu sa očekivanjima ponajviše zbog toga što se nije došlo do korijena uzroka problema. DMAIC metodom se nastoji izbjeći bilo kakvo prerano donošenje zaključka. DMAIC se provodi kroz 5 faza:

- Definiranje
- Mjerenje
- Analiza
- Poboljšanje
- Kontrola

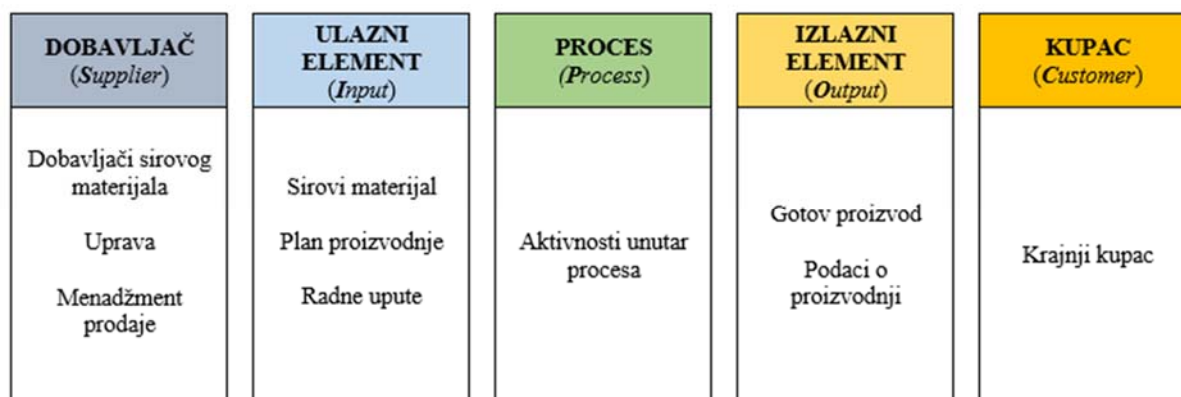
U nastavku će se opisati što se radi u pojedinoj fazi te koji se alati koriste, a dio njih su primijenila i poduzeća iz poglavlja 3 dok su neki alati navedeni kako bi se pojasnio cilj svake faze DMAIC-a. Napominje se da pojedini alati koji će biti prezentirani za svaku fazu nisu striktno primjenjivi samo u toj fazi. Oni se mogu primjenjivati u različitim fazama, a u kojoj će se primijeniti ovisi o osobama zaduženima za provedbu projekta.

2.2.3.1. Definiranje

Može se reći da faza definiranja započinje i prije formalnog početka projekta unaprjeđenja uočavanjem nekih simptoma koji ukazuju na problem poput pritužbi, nezadovoljstva kupca ili se vidi da proces ne funkcionira na način koji bi trebao. Nakon uočavanja simptoma postavljaju se pitanja je li se nešto promijenilo, kada, zašto je došlo do promjene, gdje se uočio problem, kako to utječe na zadovoljstvo kupca, utječe li na produktivnost procesa i koliku je financijsku štetu prouzročilo. Odgovori na spomenuta pitanja se koriste pri izradi Povelje o projektu (eng. *Project charter*). Svrha Povelje je pružanje osnovnih informacija o projektu unaprjeđenja te za komunikaciju unutar organizacije. Ona najčešće sadržava:

- Definiciju problema – na što će se projektni tim fokusirati, a određuje se na temelju trenutne izvedbe procesa, željenog smjera promjene i identificiranja lokacije provođenja projekta
- Cilj projekta – daje jasniju sliku projektnom timu što se želi ostvariti projektom
- Opseg projekta – pokazuje što se sve želi obuhvatiti projektom
- Ključne pokazatelje uspješnosti – mjere koje služe za ostvarivanje poslovnih ciljeva, mjerljivi cilj uspješnosti projekta
- Isporučene materijale – sva dokumentacija proizašla nakon provedbe projekta
- Iskoristive mogućnosti – dijele se na unutarnje (znanje i informacije sa kojima se ulazi u projekt) i vanjske (znanje i informacije sa kojima se izlazi iz projekta)
- Projektni tim – sponzor projekta, voditelj tima, članovi
- Vremenski okvir provedbe pojedinih faza

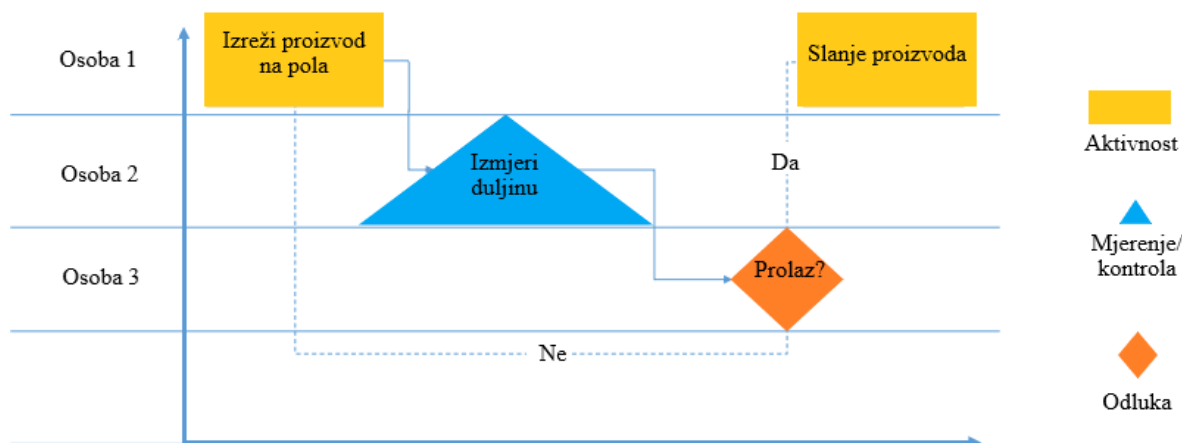
Uz navedeno Povelja može sadržavati i dodatne informacije poput budžeta, koji se benefiti očekuju i sl. Na temelju Povelje vrhovni menadžment odlučuje hoće li se predloženi projekt unaprjeđenja nastaviti. U slučaju potvrde o nastavku provedbe unaprjeđenja logičan slijed je uvid u sam proces koji se želi obuhvatiti. U tu svrhu se izrađuje SIPOC mapa. SIPOC (eng. *Suppliers - Input – Process – Output - Customer*) služi za identificiranje područja na koje će se projekt unaprjeđenja koncentrirati, a primjer je prikazan na slici 2.6.



Slika 2.6. Opći primjer SIPOC mape

Kako mapa daje prikaz procesa sa više razine, sam proces se nastoji opisati kroz nekoliko koraka (najčešće 4-7 aktivnosti unutar procesa se prikazuju u SIPOC mapi). Uz opis procesa identificiraju se izlazni elementi, ključni kupci, ulazni elementi te dobavljači. Izlazni elementi su gotovi proizvodi te podaci o proizvodnji, a pod ulazne elemente spadaju sirovi materijali, plan proizvodnje i radne upute, a mogu se staviti i narudžbe te radni nalozi. U grupu dobavljača

se osim dobavljača sirovina može staviti i uprava koja odlučuje o poslovnoj strategiji te menadžment prodaje koji upravlja prodajom i može utjecati na planiranje proizvodnje. U fazi definiranja se u Šest Sigma metodologiji, pa tako i u LSS metodologiji izrađuje mapa trenutnog procesa koja daje prikaz aktivnosti u procesu (dijagram toka procesa), a često se zna koristiti i VSM mapa opisana u poglavlju 2.1.3.3 te se identificiraju aktivnosti koje dodaju vrijednost, koje ne dodaju vrijednost, ali su nužne te čisti gubitak. Razvrstavanje aktivnosti je olakšano identificiranjem tipova gubitaka prema Lean metodologiji.



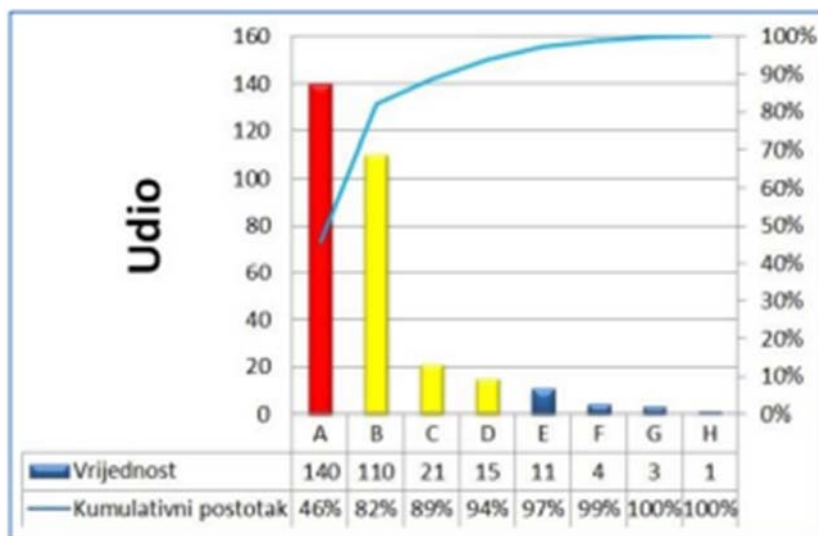
Slika 2.7. Primjer dijagrama toka procesa [1]

Slika 2.7. prikazuje dijagram toka procesa kojim se prikazuje trenutno stanje procesa i mogu se vidjeti sve aktivnosti te koje zadužen za njih (može biti osoba ili odjel). Često se koriste prikazani oblici za pojedine vrste aktivnosti, ali to ne mora biti nužno.

2.2.3.2. Mjerenje

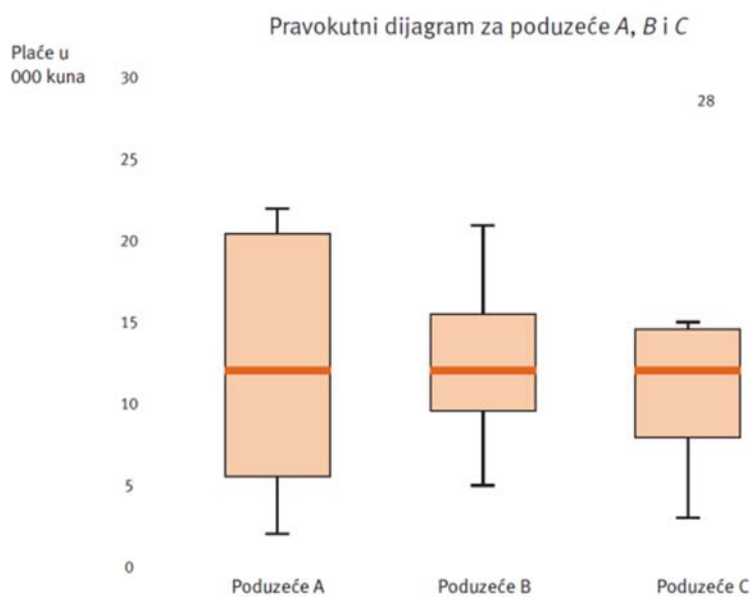
Iz prethodne faze se zna na koje područje se treba fokusirati. U fazi mjerenja se nastoje identificirati sve aktivnosti unutar procesa koji se unaprjeđuje i odrediti trenutno stanje na temelju izmjerenih ključnih pokazatelja uspješnosti. Isto tako se određuju CTQ (eng. *critical-to-quality*) karakteristike odnosno one značajke koje utječu na zahtjeve kupca. Ovisno o ljudima koji provode projekt, CTQ karakteristike su nekad definirane već u prvoj fazi, a mogu biti definirane i u fazi mjerenja. Podaci se prikupljaju praćenjem procesa i mjerenjem KPI-eva. Bitno je već u ovoj fazi proces rastaviti na što više komponenti da bi se kasnije nakon dobivenih rezultata uočilo usko grlo (eng. *bottleneck*). Usko grlo predstavlja aktivnost unutar procesa koja ima najdulje vrijeme trajanja. Uobičajeno se u fazi mjerenja prikuplja veliki broj podataka, a na temelju tih podataka se moraju izvesti zaključci o tome koja je aktivnost u procesu usko grlo ili

ima najveću varijaciju. Da bi se to uspješno izvelo uobičajeno je koristiti određene dijagrame – Pareto dijagram i Pravokutni dijagram.



Slika 2.8. Pareto dijagram [8]

Na slici 2.8. prikazan je primjer Pareto dijagrama. Načelo Pareto dijagrama se može opisati na sljedeći način – 20 % uzroka uzrokuje 80 % problema. Primjenom ovog dijagrama se nastoje grupirati i prioritizirati uzroci varijacija u procesu.



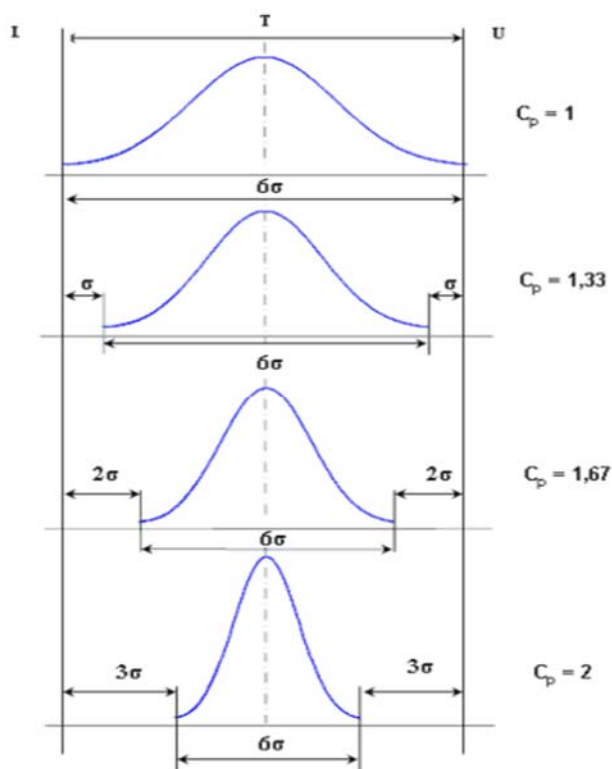
Slika 2.9. Pravokutni dijagram [9]

Primjer pravokutnog dijagrama dan je na slici 2.9. Ovaj dijagram se primjenjuje za utvrđivanje koja aktivnost ili komponenta procesa ima najveću varijabilnost u procesu što automatski znači da će ta aktivnost biti fokus pri provedbi projekta.

Pojam koji je bitan u Šest Sigma metodologiji, a time i u LSS metodologiji je sposobnost procesa. Sposobnost procesa se definira kao prirodno variranje karakteristika kvalitete koje je

primjetno mjerenjem karakteristika kvalitete od proizvoda do proizvoda ili na istom proizvodu kroz određeni vremenski period uzimajući kroz određeni period uzorke proizvoda. [10] Prirodne varijacije se javljaju u svakom procesu i neizbježne su bez obzira na tip procesa i razinu automatiziranosti. Mjerenjem sposobnosti procesa se zapravo mjeri rasipanje procesa odnosno koliko je ono u odnosu na dozvoljene granice. Za proces se može reći da je sposoban kada je raspon zahtjeva veći ili jednak rasponu samog procesa. Raspon zahtjeva predstavlja područje tolerancije T , a to je područje između gornje i donje granice specifikacije koja se definira od strane kupca. Raspon procesa podrazumijeva područje unutar ± 3 standardna odstupanja (6σ) u odnosu na sredinu procesa tj. 99,73 % površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces. Omjer raspona zahtjeva i raspona procesa se naziva indeksom sposobnosti procesa te se označava sa C_p .

Iznos indeksa sposobnosti procesa određuje je li proces sposoban. Kako je ranije spomenuto, proces se može smatrati sposobnim ako je $C_p \geq 1$, ali u stvarnosti brojne tvrtke traže da indeksa sposobnosti procesa iznosi 1,33 ili više.



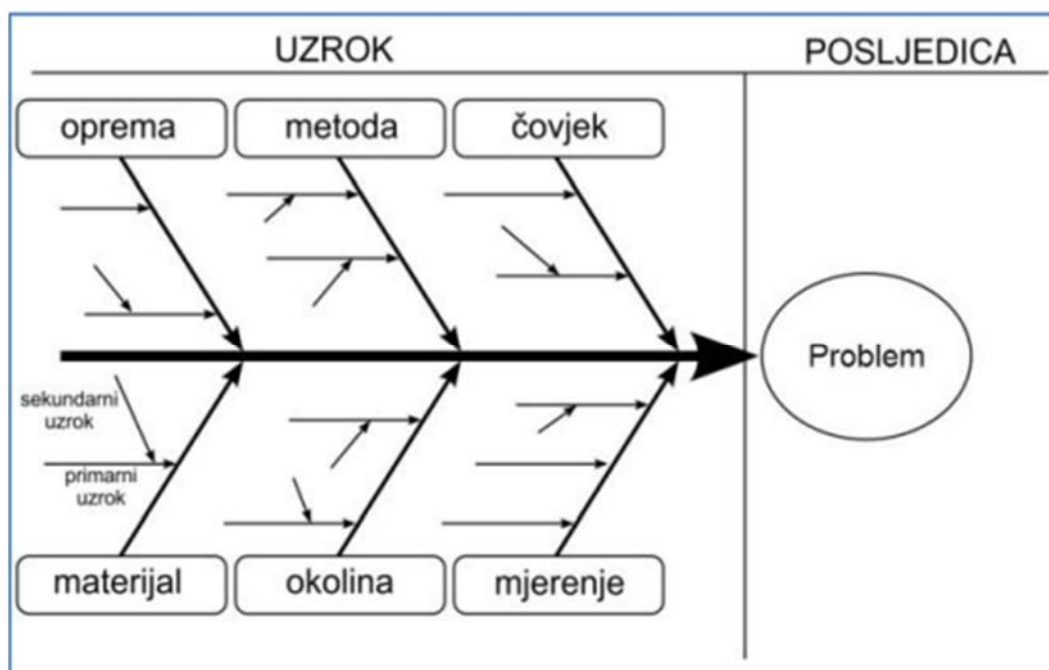
Slika 2.10. Iznosi indeksa sposobnosti procesa [11]

Slika 2.10. prikazuje koliko iznosi indeks sposobnosti procesa ovisno o rasipanju procesa. Što je rasipanje manje, to je indeks sposobnosti procesa veći, a kada je $C_p = 2$ proces djeluje na razini 6σ .

2.2.3.3. Analiza

Nakon što su se u fazi mjerenja dobili svi potrebni podaci može se pristupiti analizi istih. Spomenuti dijagrami u fazi mjerenja (Pareto, Pravokutni dijagram) daju dobar prikaz kojem dijelu procesa treba posvetiti pažnju, ali naravno da je, ovisno o veličini podataka, moguće doći do zaključka čemu se treba posvetiti i bez navedenih dijagrama. Ono što je bitno u ovoj fazi je doći do korijena uzroka problema jer ako korijen problema odnosno varijacije procesa ili nezadovoljavajuće kvalitete proizvoda nije poznat, projekt unaprjeđenja se ne može provesti. U ovoj fazi se najčešće koriste dva alata – Ishikawa dijagram (naziv prema tvorcu – Karou Ishikawa) čiji je drugi naziv dijagram uzrok – posljedica (eng. *cause – effect diagram*) ili riblja kost te analiza potencijalnih problema (eng. *potential problem analysis – PPA*).

Dijagram uzrok – posljedica se koristi za prikaz svih potencijalnih uzroka problema koji se nastoji otkloniti. Najčešće obuhvaća 7 elemenata koji utječu na nastanak problema: čovjek, oprema, majka priroda (okolina), materijali, metode, resursi (novac), mjerenje. Navedeni elementi prikazani su na slici 2.11.



Slika 2.11. Dijagram uzrok-posljedica [8]

Na temelju slike 2.11. se može vidjeti zašto je jedan od naziva za ovakav dijagram riblja kost (izgledom podsjeća na riblju kost). Svaki element od navedenih se zatim još dublje analizira primjenom metode 5 *why's*, odnosno za svaki element se ponavlja pitanje zašto sve dok se ne dođe do „krajnje točke“ – korijena uzroka. Često se uz svaki pojedini uzrok stavlja oznaka da bi se znalo može li se na to utjecati ili ne. Time se sprječavaju nepotrebni pokušaji pronalaska rješenja za one stvari koje se ne mogu promijeniti.

Analizom potencijalnih problema se nastoje popisati sve aktivnosti i uočeni problemi koji se u njima javljaju. Svakom problemu se dodjeljuje mogući uzrok, a za lakše pronalaženje uzroka služi prethodno spomenuti dijagram uzrok – posljedica. Nakon što su potencijalni problemi i uzroci popisani potrebno je te probleme prioritizirati, odnosno donijeti odluku koji će se prvi rješavati. Naravno da problemi koji su učestaliji i koji imaju ozbiljnije posljedice će biti prioritet. U tu svrhu se svakom problemu dodaje ocjena koja pokazuje koliko se često pojavljuje i koliko je opasan za željeno funkcioniranje procesa. Simulirani primjer je prikazan tablicom 2.2. u kojoj su popisane aktivnosti (A1, A2, ..., A5), problem koji se javlja u pojedinoj aktivnosti (P1, P2, ..., P5), posljedica (E1, E2, ..., E5), mogući uzrok (C1, C2, ..., C5) te ocjene učestalosti i ozbiljnosti.

Tablica 2.2. Simulirani primjer analize potencijalnih problema PPA

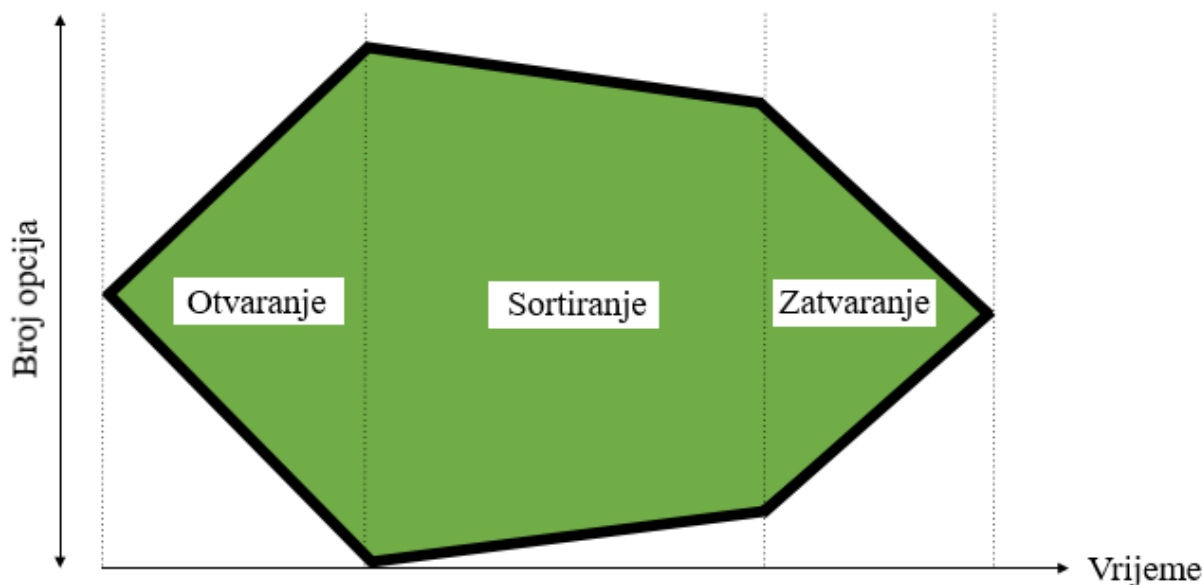
AKTIVNOST	PROBLEM	POSLJEDICA	MOGUĆI UZROK	UČESTALOST	OZBILJNOST
A1	P1	E1	C1	3	2
A2	P2	E2	C2	5	7
A3	P3	E3	C3	8	1
A4	P4	E4	C4	4	5
A5	P5	E5	C5	2	8

Skala prema kojoj će se ocjenjivati kolika je učestalost određenog problema ili ozbiljnost je stvar dogovora osoba koje sudjeluju u projektu. Logika nalaže da oni problemi koji imaju ozbiljne posljedice će se prvi rješavati, ali to ne mora biti slučaj ako su isti iznimno rijetki. Može se reći da su ocjene nekakvo usmjerenje otkuda bi se trebalo krenuti, ali je na kraju stvar dogovora između ljudi koji problemi se prvi rješavaju.

2.2.3.4. Poboljšanje

Analiza potencijalnih problema predstavlja zapravo ulaz u fazu poboljšanja. Koristeći PPA svi problemi su popisani i rangirani prema učestalosti i ozbiljnosti. Svrha faze poboljšanja je da se prije svega predlože moguće aktivnosti unaprjeđenja, odnosno rješenja problema, a onda se na temelju činjenica odabire rješenje za odabrani problem. Nakon „filtracije“ problema kreće se u

istraživanje mogućih rješenja. Relativno jednostavan alat koji se primjenjuje u ovoj fazi se zove proces kreativnog dijaloga (eng. *creative dialog process*).



Slika 2.12. Proces kreativnog dijaloga [1]

Slika 2.12. prikazuje kako izgleda proces kreativnog dijaloga. Prva faza je prikupljanje ideja odnosno članovi tima i oni koji sudjeluju u aktivnostima koje se žele unaprijediti predlažu ideje. U toj fazi se broj mogućih opcija povećava. Nakon toga kreće sortiranje ideja koje se npr. mogu razdijeliti ovisno o tome koju aktivnost unutar procesa obuhvaća. Zadnji korak je odabir ideja. Od svih mogućih ideja koje su predložene potrebno je odabrati one najbolje, ali se postavlja pitanje kako ih odabrati. Jedan od mogućih načina kako odabrati koje rješenje implementirati je kreiranje matrice uloženog truda i dobivenog rezultata (eng. *payoff-effort matrix*). Primjer takve matrice dan je na slici 2.13.



Slika 2.13. Matrica uloženog truda i dobiti

Trud koji je potrebno uložiti i potencijalna dobit koja se može ostvariti se određuju na temelju analize osoba koje provode projekt. U skladu sa omjerom uloženog truda i dobiti, pojedine se ideje smještaju u matricu. Na kraju se na temelju položaja prijedloga poboljšanja u matrici donosi odluka koja ideja će se implementirati. Pod uloženi trud spadaju resursi poduzeća poput novca, materijala i rada. Potencijalna dobit se odnosi na moguća poboljšanja u vidu većih prihoda, veće produktivnosti, smanjenja vremena ciklusa proizvodnje, smanjenja broja reklamacija i sl. Druga mogućnost je glasanje, ali to sa sobom donosi pitanja trebaju li svi imati pravo glasa, i jesu li svi glasovi jednaki. Dodatni problem je što se odabir ideje može temeljiti na osobnom mišljenju koje ne mora biti u skladu sa stvarnim stanjem aktivnosti koja se želi unaprijediti.

Nakon što je odabrana ideja koja će se implementirati pristupa se izradi implementacijskog plana u kojem se uobičajeno navodi koji se problem rješava, koji je cilj, koje područje procesa se obuhvaća, odgovorna osoba i status implementacije rješenja. Prije konačne odluke hoće li se implementirana ideja zaista iskoristiti za unaprjeđenje potrebno je istu testirati. U tu svrhu se mogu provesti demonstracijski testovi odnosno eksperimenti da se vidi učinak provedenih promjena u procesu. Druge mogućnosti su simulacije na računalu ili usporedba sa sličnim procesima koji su proveli isti tip unaprjeđenja. Naravno da bi prvi izbor trebalo biti provođenje stvarnih eksperimenata jer će se time dobiti stvarni podaci i vidjeti kako bi proces doista funkcionirao implementacijom odabranog rješenja.

2.2.3.5. Kontrola

Nakon implementiranih poboljšanja potrebno je novi način rada zadržati. Kroz ovu fazu se želi postići da novi način rada postane standardni način, a u tu svrhu se pristupa dokumentiranju rada, najčešće pomoću uputa. Kreiranje uputa na koji način provoditi neku operaciju unutar proizvodnog procesa postavlja određen standard rada kojeg bi se zaposlenici trebali držati. Bez toga bi ljudi radili kako njima odgovara što može rezultirati lošijim funkcioniranjem procesa. Uz kreiranje uputa potrebno je provoditi i kontrolu izvedbe samog procesa. Najčešće se kontrola provodi pomoću kontrolnih karata. Kontrolne karte su još poznate kao karte ponašanja procesa. [8] One prikazuju kako se mjerena značajka kreće u procesu odnosno je li unutar dozvoljenih granica. Korisno je i uvesti kontrolni plan kojim će se pratiti ključni ishodi procesa, mjere za kontrolu istih i koje su radnje potrebne u slučaju pojave abnormalnih situacija. [1]

2.3. Sinergija Lean i Šest Sigma metodologija

Na temelju napisanog u poglavljima 2.1 i 2.2 mogu se izvesti zaključci zašto bi se navedene metodologije kombinirale u jednu. Lean metodologija nastoji ostvariti kontinuiran tok proizvodnog procesa nastojeći eliminirati gubitke definirane u dijelu 2.1.2. Eliminacija ili smanjenje gubitaka se provodi prema pet osnovnih principa na kojima se temelji Lean proizvodnja dok Šest Sigma karakterizira projektni pristup u kojem se prvo uočavaju varijacije u procesu, otkrivaju uzroci istih, a koji se potom otklanjaju. Različiti elementi kojima pojedina metodologija pridonosi u sinergiji su prikazani u tablici 2.3.

Tablica 2.3. Doprinosi Lean-a i Šest Sigme u sinergiji

LEAN	ŠEST SIGMA
Provođenje unaprjeđenja na temelju Lean principa	Provođenje unaprjeđenja kroz DMAIC pristup
Usmjerenje na tok proizvodnog procesa	Usmjerenje na varijabilnost procesa
Eliminiranje ili smanjenje gubitaka u procesu	Eliminiranje ili smanjenje varijacija u procesu
Mapiranje toka aktivnosti i vrijednosti u procesu	Grafičko prikazivanje izvedbe procesa
Procjenjivanje mogućnosti za poboljšanje	Mogućnosti za poboljšanje temeljene na podacima
Indirektna kontrola kvalitete	Direktna kontrola kvalitete

Kombiniranje navedenih metodologija je poželjno iz nekoliko razloga. Lean metodologija ne koristi statističke alate za analizu stanja procesa. Tehnikama Lean-a se nastoji prikazati trenutno stanje procesa da se uoče gdje su gubici, ali ono ne daje prikaz izvedbe procesa. To znači da se ne mogu uočiti ni varijacije u izvedbi, a čim su prisutne velike varijacije proces nije pod kontrolom. Kada proces ili aktivnost unutar njega nije pod kontrolom onda je nemoguće predvidjeti kakav će biti ishod. Samim time je teško sa sigurnošću garantirati kupcu da će dobiti proizvod tražene kvalitete unutar zahtijevanog roka. Sa druge strane, korištenjem alata iz Šest Sigme nastoji se proces staviti pod kontrolu odnosno želi se moći na temelju određenih parametara predvidjeti ishod. Problem je što se time ne uklanjaju gubici koji utječu na brzinu procesa te se ne može primjenom tih alata zasebno uspostaviti kontinuiran tok. Može se reći da jedna metodologija nadopunjuje drugu. Primjenom osnovnih načela Lean metodologije se

nastoji osigurati uredan i kontinuiran tok procesa. Tako uređeni proces je lakše pratiti prilikom provođenja analize varijabilnosti. Lean alati za prikaz procesa daju sliku kojom se olakšava dekompozicija istog tijekom DMAIC-a kako bi se došlo do uzroka problema. Eliminiranje ili smanjivanje gubitaka u procesu također rezultira smanjenjem varijacija. Usmjerenje Lean proizvodnje na eliminaciju gubitaka povećava kvalitetu na Sigma razini zbog toga što se smanjuje mogućnost za proizvodnju nesukladnih proizvoda. Smanjenjem varijacija se smanjuju moguće prerade proizvoda čime se osigurava brži i neometan tok. Na temelju svega napisanog može se zaključiti da istovremenom primjenom Lean-a i Šest Sigme se ograničenja pojedine metodologije mogu uspješno nadvladati.

2.4. Zastupljenost LSS-a u proizvodnji

Uz strukturirani pristup kontinuiranom unaprjeđenju i brojnim alatima za analizu te poboljšanje koje nudi LSS metodologija, postavlja se pitanje koliko je ista zastupljena u proizvodnji. Primjeri poduzeća koji će biti prikazani u poglavlju 3 su firme koje djeluju u različitim krajevima svijeta i u različitim sektorima proizvodnje. Iako je uzorak ograničen može se reći da je primjena LSS-a prisutna u raznim granama proizvodnje.



Slika 2.14. LSS metodologija u proizvodnji [12]

Na slici 2.14. dan je prikaz zastupljenosti LSS metodologije unutar proizvodnog sektora. Podaci prikazani na slici se odnose zapravo na broj članaka o primjeni LSS metodologije u raznim granama proizvodnje. Na temelju broja radova napisanih o primjeni LSS-a mogu se izvesti određeni zaključci. Najzastupljenija je automobilska industrija sa 14 radova. Razlog tome može biti zato što je automobilska proizvodnja većinom serijska i masovna proizvodnja pa je zato

nužno imati kontinuiran tok u proizvodnom procesu. Isto tako automobili se u ogromnom broju koriste na razini cijelog svijeta te je nužno da isti budu maksimalno sigurni, ali se svakako ne smije zaboraviti ni težnja za što je mogućim većim profitom. Veći profit će se najjednostavnije ostvariti od veće prodaje, a povećanje prodaje se može ostvariti kontinuiranim ulaganjem u kvalitetu kako bi kupci bili zadovoljni. Odmah iza automobilske industrije se smjestila elektronička sa 12 radova. Elektronika je prisutna na svakom koraku te je zbog velike potražnje, ali i zahtjeva za kvalitetom nužno konstantno unaprjeđenje proizvodnje. Sa druge strane, iz razloga što mnoge firme svoje proizvode izvoze u razne dijelove svijeta, ali i naručuju sirovine iz različitih područja, dostava proizvoda/sirovina na vrijeme je od presudne važnosti. To može biti razlog veće zastupljenosti LSS metodologije i u logistici. Primjeri LSS metodologije se mogu naći još u građevini, tekstilnoj industriji, zrakoplovstvu i prehrambenoj industriji. Iako su u manjem broju u odnosu na prethodno navedene ne treba isključiti mogućnost da je i u navedenim industrijama stvarna primjena LSS-a veća.

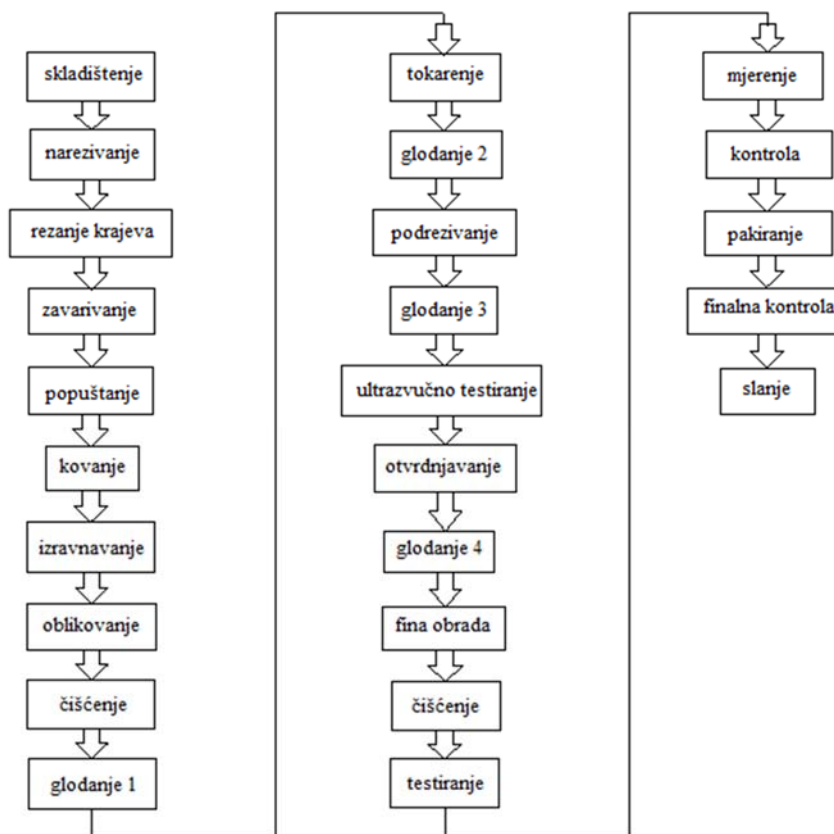
3. PRIMJERI PRIMJENE U PROIZVODNIM PODUZEĆIMA

3.1. Proizvodno poduzeće A

Kao primjer za jedno proizvodno poduzeće koje primjenjuje LSS metodologiju izvan EU odabrana je proizvodna firma koja se bavi proizvodnjom dijelova za automobile. Odabrana firma je smještena u Indiji te je ujedno najveći proizvođač automobilskih komponenti u toj državi, a dijelovi koje proizvodi ugrađuju se u putnička i komercijalna vozila. Iako firma proizvodi više vrsta automobilskih dijelova, provedeni projekt implementacije LSS metodologije se fokusirao konkretno na dio koji se ugrađuje u motore vozila. Njegova zadaća je kontrola toka plinova unutar motora uzimajući u obzir tekućine (npr. ulje u motoru) prisutne u motoru, a kojim se upravlja pomoću upravljača odnosno volana. Područje koje se htjelo unaprijediti je vezano uz proizvodnu liniju, a provedba unaprjeđenja se temeljila na DMAIC pristupu koji je opisan u prethodnom poglavlju 2.2.3. U nastavku će kroz pojedine faze DMAIC-a biti opisan projekt unaprjeđenja.

3.1.1. Faza definiranja

U fazi definiranja se prvo krenulo od samog pojašnjenja problema. Kako bi se što bolje definirao problem, voditelji projekta implementacije LSS metodologije održali su nekoliko sastanaka sa stručnjacima iz firme i članovima tima. Cilj je bio ustanoviti, na temelju povratnih informacija od strane kupca, koje su to značajke proizvoda koje uzrokuju nezadovoljstvo i manju kvalitetu od očekivane. Dobra definicija problema je nužna kako bi se mogli ostvariti zadani ciljevi. Tijekom tih sastanaka došlo se do zaključka da se defekti javljaju na samoj proizvodnoj liniji, što je i potvrđeno prilikom praćenja procesa u obilasku linije. Uočeno je više defekata, a najznačajniji su bili premala duljina, nejednoliko nasjedanje dijela i oštećenja nastala prilikom obrade odvajanjem čestica (OOČ). Kako bi se moglo krenuti dublje u analizu zašto se pojavljuju navedeni defekti potrebno je bilo prvo dati prikaz cijelog tijeka proizvodnog procesa odnosno koje sve aktivnosti su potrebne da bi se dobio gotov proizvod.



Slika 3.1. Tijek proizvodnog procesa [13]

Slika 3.1. prikazuje tijek proizvodnog procesa. Ovakav linearan prikaz daje uredan pregled svih aktivnosti potrebnih za izradu i isporuku gotovog proizvoda. Uz dijagram tijeka procesa u ovoj fazi se izradila i SIPOC mapa za prikaz cijelog procesa na višoj razini koja pruža uvid u sve sudionike i aktivnosti prilikom izrade i isporuke proizvoda.

DOBAVLJAČ (Supplier)	ULAZNI ELEMENT (Input)	PROCES (Process)	IZLAZNI ELEMENT (Output)	KUPAC (Customer)
X Y	Narudžba Sirovi materijal	Ulazna kontrola Aktivnosti u procesu proizvodnje Izlazna kontrola Slanje isporuke	Komponenta motornog vozila	A B

Slika 3.2. SIPOC mapa [13]

Na slici 3.2. prikazana je SIPOC mapa cijelog procesa i može se uočiti da je se uz aktivnosti prikazane na slici 3.1 prethodno provodi kontrola dostavljenog materijala. Na kraju ove faze izrađena je povelja o projektu koja sadrži definiciju problema, cilj projekta, opseg projekta, članove tima, koji će se alati koristiti, benefiti i uloge pojedinih članova tima koji provodi projekt. Uz navedeno, napravljen je i okvirni raspored trajanja pojedinih faza projekta. Primjer povelje o projektu prikazan je na slici 3.3.

Definicija problema: Nezadovoljavajući udio nesukladnih proizvoda Dugo vrijeme proizvodnje	Cilj: Smanjenje udjela nesukladnih proizvoda Kraće vrijeme proizvodnje	Opseg projekta: Cijeli proizvodni proces	Tim: Osoba A - stručnjak Osoba B - stručnjak Osoba C - koordinator
KPI: Broj defektnih proizvoda na tisuću komada, FPY, OEE, pripremno-završno vrijeme, vodeće vrijeme, vrijeme ciklusa	Isporučeni materijali: Povelja o projektu, SIPOC, VSM, Pareto, dijagram uzrok-posljedica	Dodatni benefiti: Manje vrijeme proizvodnje i troškovi, veća kvaliteta i zadovoljstvo kupca	Početak: 1.8.2014 Završetak: 20.12.2014.

Faza definiranja	Faza mjerenja	Faza analize	Faza poboljšanja	Faza kontrole
Početak: 1.8.2014. Završetak: 22.8.2014	Početak: 25.8.2014. Završetak: 20.9.2014	Početak: 22.9.2014. Završetak: 25.10.2014	Početak: 27.10.2014. Završetak: 29.11.2014	Početak: 1.12.2014. Završetak: 20.12.2014

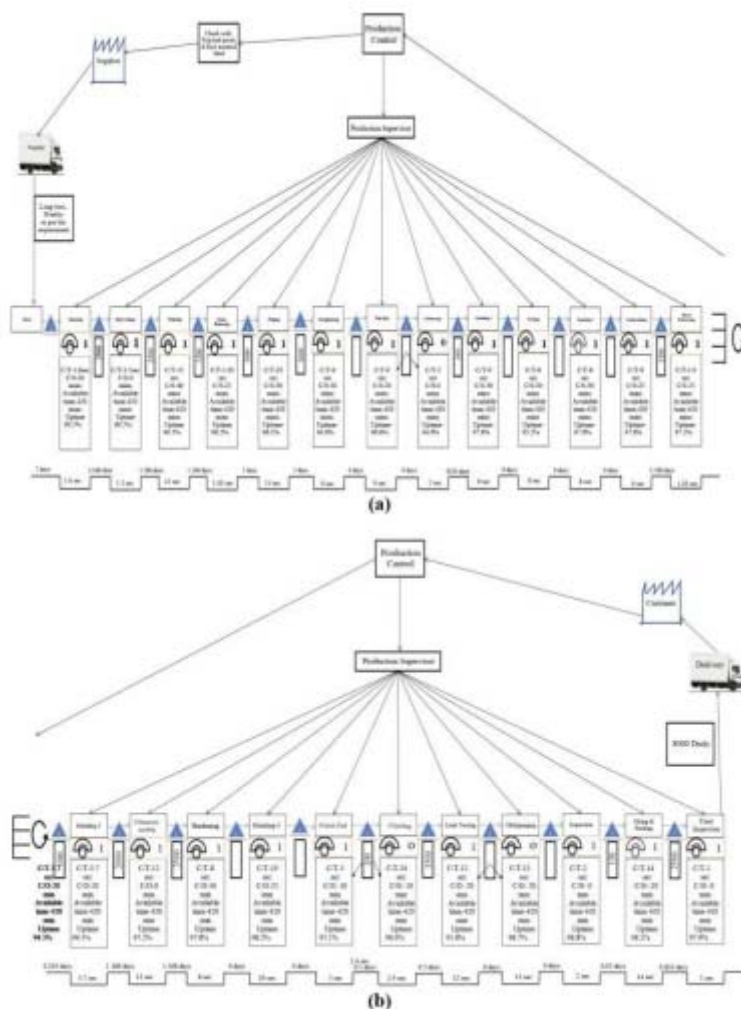
Slika 3.3. Povelja o projektu [13]

Vidljivo je da se uz smanjenje udjela defektnih proizvoda želi smanjiti i vodeće vrijeme, vrijeme ciklusa i pripremno – završno vrijeme. U nastavku projekta prvi cilj je bio smanjenje udjela defektnih proizvoda, a zatim se vodilo računa o reduciranju prethodno spomenutih vremena.

3.1.2. Faza mjerenja

Faza mjerenja je započela prikupljanjem podataka o trajanju pojedinih aktivnosti. Podaci su se prikupljali praćenjem rada operatera i radnika na pojedinim radnim stanicama proizvodne linije te su se bilježila vremena trajanja pojedinih aktivnosti, pripremno - završno vrijeme, raspoloživa vremena i broj radnika na radnim stanicama. Prije provođenja mjerenja izrazito je bitno definirati operaciju koja se mjeri odnosno točno kada se počinje mjeriti i kada se prestaje

tako da svi rezultati budu reprezentativni. Na temelju prikupljenih podataka se zatim konstruirala mapa trenutnog stanja procesa koja sadrži prethodno spomenute podatke, a prikazana je na slici 3.4. koja služi samo kao ilustrativni prikaz jer bolja kvaliteta slike nije bila dostupna.



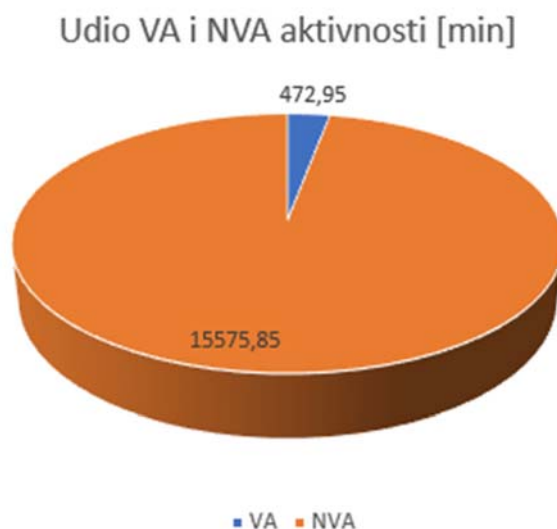
Slika 3.4. Mapa trenutnog stanja procesa [13]

Iz mape trenutnog stanja procesa je inače moguće uočiti za koju je aktivnost potrebno dulje vrijeme izvođenja i samim time fokus prebaciti na taj dio procesa. Nakon mape trenutnog stanja koja sadrži sve aktivnosti u procesu proizvodnje, provedena je kategorizacija svih aktivnosti. Kategorizacija se provela na temelju toga donosi li određena aktivnost vrijednost proizvodu koju je kupac spreman platiti. Tako su aktivnosti podijeljene na one koje dodaju vrijednost proizvodu - VA (eng. *value adding*) i one koje ne dodaju vrijednost proizvodu – NVA (eng. *non value adding*), a u skladu sa time će se označiti i njihova vremena (VAT i NVAT). U vrijeme trajanja svih VA aktivnosti uračunato je i tehnološko vrijeme te pripremno - završno vrijeme strojeva, a vrijeme potrebno za NVA aktivnosti je dobiveno oduzimanjem vremena

trajanja VA aktivnosti od vodećeg vremena proizvodnog procesa. Tu se može vidjeti kako su aktivnosti koje su nužne, ali ne dodaju direktnu vrijednost smatrane ipak dijelom aktivnosti koje dodaju vrijednost. Pretpostavka je da su zato i aktivnosti podijeljene na VA i NVA, a NVA u ovom kontekstu predstavlja analogiju sa W aktivnostima definiranim u poglavlju 2.2.1.

Br.	Aktivnosti	VA/NVA	Br.	Aktivnosti	VA/NVA
1	narezivanje	VA	15	glodanje 2	VA
2	rezanje krajeva	VA	16	popuštanje	VA
3	kovanje	VA	17	glodanje 3	VA
4	kontrola	NVA	18	inspekcija za glodanje	NVA
5	otvrdnjavanje	VA	19	inspekcija nakon glodanja	NVA
6	pranje	VA	20	glodanje 4	VA
7	temperiranje	VA	21	finalna obrada	VA
8	izravnavanje	VA	22	čišćenje 2	VA
9	oblikovanje	VA	23	testiranje	VA
10	čišćenje 2	VA	24	mjerenje	VA
11	odobrenje kovanja	NVA	25	kontrola	NVA
12	potvrda kovanja	NVA	26	pakiranje	VA
13	glodanje 1	VA	27	finalna kontrola	NVA
14	tokarenje	VA			

Slika 3.5. Kategorizacija aktivnosti na VA i NVA [13]

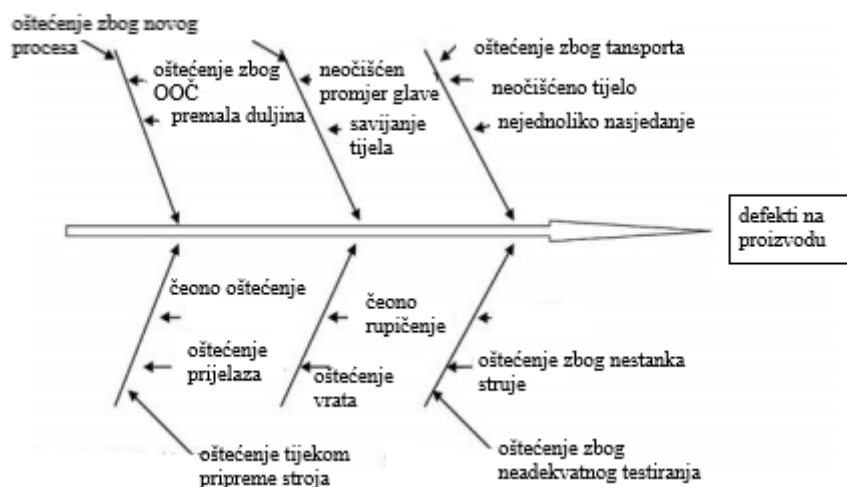


Slika 3.6. Ukupno trajanje svih VA i NVA aktivnosti [13]

Na slici 3.5. prikazana je provedena kategorizacija aktivnosti, a slika 3.6. prikazuje trajanje oba tipa aktivnosti u procesu. Vidljivo je da NVA aktivnosti traju puno dulje od VA aktivnosti te će nastojati reducirati NVA i optimizirati VA.

3.1.3. Faza analize

U ovoj fazi provedbe projekta se pristupa analizi podataka prikupljenih u prethodnoj fazi. Cilj je bio razumjeti što stoji iza podataka o trenutnom stanju procesa kako bi se moglo onda razmišljati o otklanjanju uzroka problema. Prvo se pristupilo analizi mogućih uzroka defektnih komada. U tu svrhu se izradio dijagram uzrok-posljedica (eng. *cause-effect* ili Ishikawa dijagram) koji je prikazan na slici 3.7. koji daje dobar prikaz koji to sve faktori utječu na pojavu defekata na proizvodu, a podaci o defektima i uzrocima su prikupljeni kroz 6 mjeseci čime se osiguralo da su isti mjerodavni.



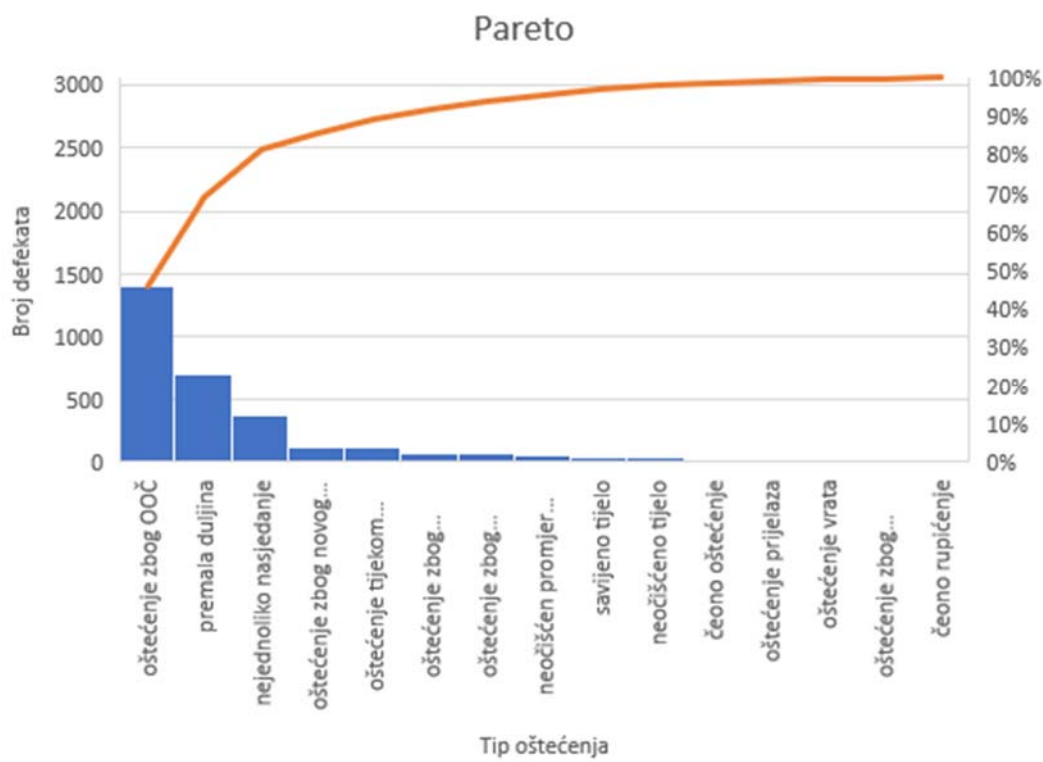
Slika 3.7. Dijagram uzrok-posljedica [13]

Uz defekte prikazane na slici 3.7. napravljena je i tablica koja pokazuje učestalost pojavljivanja svakog od navedenih defekata prikazana na slici 3.8.

Tip oštećenja	Broj defekata	%
oštećenje zbog OOČ	1398	45,7
pre mala duljina	710	23,2
nejednoliko nasjedanje	378	12,4
oštećenje zbog novog procesa	120	3,9
oštećenje tijekom pripreme stroja	120	3,9
oštećenje zbog neadekvatnog testiranja	73	2,4
oštećenje zbog transporta	65	2,1
neočišćen promjer glave	48	1,6
savijeno tijelo	46	1,5
neočišćeno tijelo	32	1
čeoono oštećenje	22	0,7
oštećenje prijelaza	12	0,4
oštećenje vrata	11	0,4
oštećenje zbog nestanka struje	11	0,4
čeoono rupičenje	8	0,3

Slika 3.8. Defekti na proizvodu i njihova učestalost [13]

Uz tablicu je konstruiran i Pareto dijagram koji daje lijepi ilustrativni prikaz najčešćih defekata koji pridonose padu kvalitete proizvoda, a prikazan je na slici 3.9.



Slika 3.9. Pareto dijagram [13]

Na temelju tog dijagram može se vidjeti kako 80% problema defektnog proizvoda uzrokuju oštećenja nastala prilikom obrade odvajanjem čestica (OOČ), premala duljina i nejednoliko nasjedanje. Otkrivanjem uzroka tih defekata i njihovim otklanjanjem riješiti će se dakle 4/5 problema koji uzrokuju nezadovoljavajuću kvalitetu proizvoda. Drugi dio ove faze se fokusirao na usporedbu trenutnog vodećeg vremena i vremena ciklusa sa željenim. Željena vremena su definirana od strane kupca i nakon usporedbe sa trenutnim iznosima uočena je velika razlika. Prilikom analize tih razlika došlo se do zaključka da bi se ona mogla smanjiti usvajanjem jednog od principa Lean proizvodnje – uspostavljanjem kontinuiranog toka izrade proizvoda kroz proces.

3.1.4. Faza poboljšanja

U ovoj fazi projekta se definiraju potrebne akcije kako bi se otklonili uočeni problemi. Prvo se pažnja posvetila reduciranju broja defektnih proizvoda. Nakon što se kroz prve tri faze došlo do najčešćih problema koji uzrokuju defektan proizvod potrebno je još odrediti što uzrokuje naveden probleme. Imajući to na umu pristupilo se izradi PPA dijagrama koji je prikazan na slici 3.10.

Tip oštećenja	Uzrok	Mišljenje članova tima o ozbiljnosti problema
Oštećenje zbog OOČ	Krivo unesena početna vrijednost prilikom zagrijavanja stroja	Značajan problem
Premala duljina	Neodgovarajuće postavljanje stroja	Značajan problem
Nejednoliko nasjedanje	Neodgovarajuće postavljanje stroja	Značajan problem
Oštećenje zbog novog procesa	Korištenje krivog alata	Manje značajan problem
Oštećenje tijekom pripreme stroja	Krivo unesena početna vrijednost prilikom zagrijavanja stroja	Manje značajan problem
Oštećenje zbog neadekvatnog testiranja	Nepravilno rukovanje	Manje značajan problem
Oštećenje zbog transporta	Neadekvatna kontrola pakiranja	Manje značajan problem
Neočišćen promjer glave	Loše čišćenje	Manje značajan problem
Savijeno tijelo	Pomak valjka prilikom izravnavanja	Manje značajan problem
Neočišćeno tijelo	Loše čišćenje	Manje značajan problem
Čeono oštećenje	Prevelika sila pri kovanju	Manje značajan problem
Oštećenje prijelaza	Nepažljivo rukovanje	Manje značajan problem
Oštećenje vrata	Testiranje nakon izravnavanja	Manje značajan problem
Oštećenje zbog nestanka struje	Nestanaka struje pri kraju smjene	Manje značajan problem
Čeono rupičenje	Izostanak fine obrade	Manje značajan problem

Slika 3.10. Analiza potencijalnih problema PPA [13]

Uzroci pojave problema koji utječu na kvalitetu proizvoda su dani na temelju mišljenja članova tima koji provodi projekt uz razgovor sa operaterima i praćenjem rada na liniji. Isti način se primijenio i za procjenjivanje utjecaja pojedinog problema na završni proizvod. Može se uočiti da je glavni uzrok problema za pojavu oštećenja bio u krivo unesenoj početnoj vrijednosti tijekom „zagrijavanja“ stroja prije puštanja u rad. Za problem male duljine proizvedene komponente je uzrok bio u neodgovarajućem postavljanju stroja tj. postavljanju stroja bez nadzora stručnjaka. Kako bi se ubuduće takvi problemi izbjegli uveden je trening operatera da se izbjegniju krivo unesene vrijednosti te konstantna prisutnost stručnjaka prilikom namještanja stroja za rad. Nakon implementacije tog rješenja pristupilo se smanjenju razlike trenutnog i željenog iznosa vodećeg vremena. Još u fazi analize se došlo do zaključka da bi osiguravanje kontinuiranog toka znatno utjecalo na smanjenje spomenutog vremena. Uz kontinuirani tok nastojalo se ujednačiti opterećenje pojedinih radnih stanica kako ne bi dolazilo do zastoja i nakupljanja poluproizvoda prije pokretanja iduće operacije. U tu svrhu se primijenio alat 5S, a za smanjenje vremena potrebnog za pripremanje stroja uveli su se stezni alati. Također su osigurani i treninzi za radnike o 5S kako bi ta metoda postala dio svakodnevne rutine.

3.1.5. Faza kontrole

Nakon što su provedene radnje za unaprjeđenje u prethodnoj fazi potrebno je bilo odrediti na koji način će se cijeli proces kontrolirati kako bi se osiguralo da se novo stanje zadrži. Zbog toga su se uvele kontrolne karte pomoću kojih će se pratiti je li proces pod kontrolom odnosno da nema većih varijacija. Ako na kontrolnoj karti nije uočena značajna varijacija nema potrebe mijenjati parametre procesa. U suprotnom bi bilo potrebno promijeniti neke parametre u procesu ovisno o analizi podataka iz kontrolnih karata. Uz kontrolne karte uveli su se 5S auditu kako bi se osiguralo da radnici nastave održavati radno mjesto uređeno i organizirano.

3.1.6. Rezultati

U fazi poboljšanja u poglavlju 3.1.4. su opisane akcije kako bi se uklonili uzroci problema. Kako su ti uzroci uklonjeni, već na temelju te same informacije se može zaključiti da je do određenog poboljšanja došlo. Prikaz poboljšanja dan je tablicom 3.1.

Tablica 3.1. Rezultati primjene LSS-a [13]

KPI	PRIJE LSS-a	POSLIJE LSS-a	RAZLIKA
Broj defektnih proizvoda na tisuću komada	2	1	Smanjenje 50%
OEE	0,64	0,91	Povećanje 42,18%
Pripremno-završno vrijeme [min]	470	400	Smanjenje 14,19 %
FPY [%]	99,8	99,9	Povećanje 0,1 %
Vodeće vrijeme [min]	16048,8	9572,8	Smanjenje 40,35%
Vrijeme ciklusa [min]	2954	2744	Smanjenje 7,10%
Broj radnika	21	19	Smanjenje za 2 radnika
Dnevni broj proizvedenih komada	8000	12000	Povećanje za 50%

Tablica 3.1. prikazuje iznose pojedinih ključnih pokazatelja uspješnosti prije i nakon implementacije LSS metodologije. Glavni cilj provedbe je bilo smanjenje udjela defektnih proizvoda te povećanje prinosa prvog prolaza. Vidi se da je smanjenje udjela defektnih proizvoda utjecalo automatski na povećanje prinosa prvog prolaza. Iako je udio defektnih odnosno nesukladnih proizvoda i prije bio na relativno niskoj razini, potreba da se to dodatno smanji nije iznenađujuća jer se od proizvođača motornih vozila traži da njihovi proizvodi budu sigurni, a to se može ostvariti jedino ako sve komponente odgovaraju predviđenim zahtjevima. Prikazano smanjenje je direktna posljedica uvođenja treninga operatera za postavljanje odgovarajućih vrijednosti za rad stroja te stalna prisutnost stručnjaka čime se osiguralo da, ako dođe do određenih problema, uz pomoć stručnjaka se isti brzo mogu otkloniti. Iz tog razloga dolazi do manje nesukladnosti. U tablici se također može primijetiti znatno smanjenje vodećeg

vremena. To može biti posljedica ujednačavanja opterećenja radnih stanica i bolje organizacije radnih mjesta primjenom 5S-a. Potpora stručnjaka i educirani operateri su također značajno pridonijeli tome kao i smanjenju pripremnog-završnoga vremena. Došlo je i do značajnog poboljšanja OEE što se može pripisati većoj raspoloživosti stroja zbog bržeg namještanja za rad pa time dulje vremena provodi u radu, boljom učinkovitosti stroja zbog dobro namještenih parametara koji ujedno utječu i na veću kvalitetu odnosno manje nesukladnih proizvoda. Smanjenje vodećeg vremena je ujedno utjecalo i na veći broj komada proizvedenih po danu. Iako se broj radnika uobičajeno ne koristi kao ključni pokazatelj uspješnosti, moguće je da se njegovim navođenjem htjela naglasiti bolja uravnoteženost raspodjele posla te uz bolji tok kroz proizvodni proces nije bilo potrebe za radnicima na određenim radnim mjestima.

3.2. Proizvodno poduzeće B

Za primjer proizvodnoga poduzeća unutar EU koje je provelo projekt implementacije LSS metodologije odabrana je firma koja se bavi proizvodnjom plastičnih komponenti injekcijskim prešanjem. Firma se nalazi u Italiji sa oko dvjesto zaposlenih i proizvode plastične komponente za različite tipove industrije: automobilsku industriju, medicinske uređaje, zrakoplovstvo i elektroničke uređaje. Posjeduju oko pedeset preša za proizvodnju laganih plastičnih dijelova – od 0,01 grama do 20 grama, a jedna ili nekoliko preša se koriste za izradu dijelova za jedan tip industrije. Nakon završetka proizvodnje jednog tipa proizvoda na istoj preši se može proizvoditi i drugi tip proizvoda, ali je potrebno prije toga izvršiti namještanje stroja što uzrokuje zastoje koji znaju potrajati i do jedan sat. Kompanija je u prošlosti provela već nekoliko LSS projekata, a projekt koji će se opisati u ovom poglavlju je vezan uz proizvodnju dijelova za kupca koji se bavi proizvodnjom medicinskih uređaja. Projekt se proveo također prema DMAIC pristupu kao i prethodno opisani te će se ponovno po fazama provesti analiza.

3.2.1. Faza definiranja

Početna faza DMAIC ciklusa u ovom slučaju je već započela i prije formalnog početka provođenja projekta uočavanjem nekoliko problema kroz prethodnih par mjeseci. Kompanija se suočila sa kaznama od strane kupca jer se dogodilo da neke njihove narudžbe nisu u traženom roku ispunjene. Ispunjenje narudžbi je firma pokušavala riješiti na način da se dodatno optereće strojevi nadajući se da će uspjeti time smanjiti potrebno vrijeme isporuke. To je rezultiralo nakupljanjem materijala u procesu što je pak uzrokovalo dodatne troškove, smanjenje

raspoloživog prostora, a postojala je mogućnost od zastarijevanja materijala jer se dugo čekalo na obradu. Ukupna učinkovitost strojeva je bila niska i teško je bilo predvidjeti kada će pojedini proizvod biti gotov. Uz navedeno su se morale provoditi i ponovne inspekcije što je također dovelo do duljeg vremena potrebnog za isporuku. Još jedan problem je bio taj da je postojao velik udio defektnih proizvoda. Nakon što je po treći put kompanija zakasnila sa isporukom kupac je, uz kaznu, zaprijetio prelaskom kod drugog dobavljača. Taj kupac donosi godišnje veliki prihod firmi i to je bio konačan povod za provođenje LSS projekta. Obzirom na prethodno uočene probleme i žalbe, oformljeni tim je sastavio povelju o projektu prikazanu na slici 3.11.

Datum: 30.4.	Odgovorna osoba: XY
<p>Definicija problema: 3 dijela naziva MS1, MS2, MS3 koji pripadaju istoj grupi proizvoda (MS dijelovi) se proizvode na preši P12. Preša ima nizak OEE (40%) koji varira za dodatnih 10%. Zbog toga je otežano planiranje rada preše. U zadnjih 6 mjeseci se 3 puta dogodilo kašnjenje isporuke te dolazi do nakupljanja materijala u procesu jer se nastojalo isporučivati proizvode na vrijeme. Kvaliteta je loša jer je broj defektnih proizvoda na milijun komada velik (20000) zbog odstupanja unutarnjeg promjera van tolerancija koje kupac zahtjeva. Zato se odlučila provoditi ponovna inspekcija svih proizvoda što je rezultiralo velikim troškovima.</p>	
<p>Troškovi: Veliki troškovi zbog plaćanja kazni, većeg broja zaliha i ponovnih inspekcija uz prijetnju kupca da će preći drugom dobavljaču.</p>	
<p>Predložena rješenja: Pokretanje Lean Šest Sigma projekta uz tim od 5 osoba (Crni pojas, inženjer za prešu, radnik u održavanju i 2 operatera).</p>	
<p>Trajanje projekta: Procjena je oko 6 mjeseci.</p>	
<p>Benefiti: Smanjenje pripremnog - završnog vremena stroja, udjela defekata i smanjenje zaliha te ušteda na istima. Moćnost izbjegavanja daljnjih kazni i sprječavanje prelaska kupca drugom dobavljaču.</p>	

Slika 3.11. Povelja o projektu [14]

U odnosu na primjer iz poglavlja 3.1. u povelji nije navedeno okvirno vrijeme za pojedinu fazu već za cijeli projekt te nisu navedeni korišteni alati. Može se uočiti da je i u ovom slučaju navedeno na što će se točno fokusirati ovaj projekt, a to je povećanje iznosa OEE za prešu P12 koja proizvodi proizvode MS1, MS2, MS3 te je napomenuto da su veliki troškovi uzrokovani navedenim problemima. Uz povećanje OEE ovim projektom se još želi smanjiti varijacija, smanjiti potrebno pripremnog – završnog vremena i udio defektnih proizvoda. Kako je fokus projekta usmjeren na jedan stroj odnosno prešu, a ne na cijelu proizvodnu liniju kao u prethodnom primjeru, nije se izrađivala mapa trenutnog stanja procesa niti dijagram toka procesa.

3.2.2. Faza mjerenja

Nakon što je u prethodnoj fazi predstavljeno na što će se fokusirati projekt, u ovoj fazi se želi doći do podataka o trenutnom stanju. Tijekom prikupljanja podataka vrlo brzo se došlo do zaključka koje su to CTQ karakteristike sa strane kupca te su iste prikazane na slici 3.12.

Zahtjevi kupca	CTQ
Isporuka na vrijeme (OTD)	Pripremno - završno vrijeme preše P12 OEE
Manji udio defektnih proizvoda	Unutarnji promjer Vanjski promjer Vlačna čvrstoća

Slika 3.12. Zahtjevi kupca transformirani u CTQ karakteristike [14]

Priložena slika 3.12. prikazuje zahtjeve kupca izražene kao karakteristike kvalitete. Na vrijeme isporuke proizvoda utječu dvije ključne karakteristike – učinkovitost i pripremno - završno vrijeme stroja. Drugi zahtjev je manji broj defekata, a definirano je da na odluku je li proizvod škart ili ne utječu unutarnji i vanjski promjer te vlačna čvrstoća i na temelju podataka postalo je odmah vidljivo da će se pažnja morati usmjeriti na izradu unutarnjeg promjera, učinkovitost te pripremno - završno vrijeme stroja. Preša PS12 proizvodi tri različita proizvoda (MS1, MS2, MS3) što podrazumijeva mijenjanje kalupa i pripremu stroja za novi proizvod tri puta. Kako je kao jedna od karakteristika ključnih za isporuku na vrijeme definirano pripremno - završno vrijeme stroja članovi tima su prikupili podatke o tim vremenima i izračunali prosječno pripremno - završno vrijeme stroja za svaki proizvod te standardnu devijaciju.

Promjena kalupa	Prosječno pripremno - završno vrijeme [min]	Standardna devijacija (σ) [min]
MS1:MS2	146	25
MS2:MS3	131	22
MS3:MS1	138	23

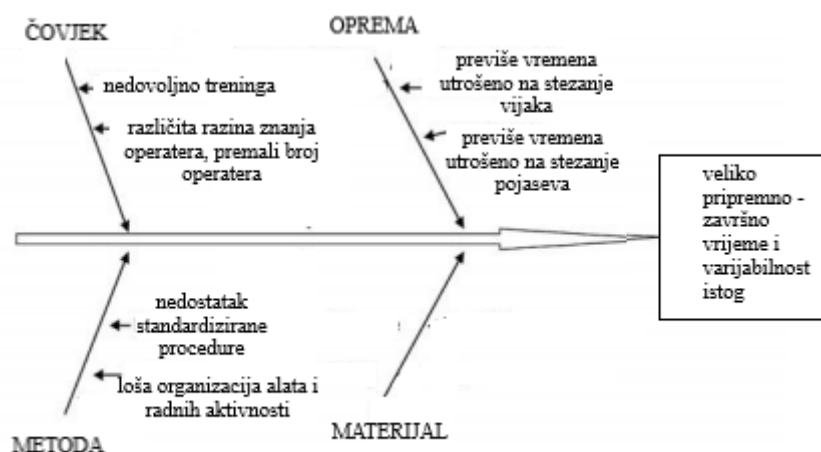
Slika 3.13. Prosječna pripremno – završna vremena stroja [14]

Slika 3.13. prikazuje prosječno pripremno – završno vrijeme stroja za svaku vrstu proizvoda i standardnu devijaciju za pojedino vrijeme. Vidljivo je da su vremena visoka, ali još je bitnije uočiti na veliku devijaciju zbog čega je teško predvidjeti kada će stroj započeti sa radom na novom proizvodu, a time i kada bi proizvod mogao biti gotov. Ovakvo stanje utječe i na

trenutno niski OEE jer otežava računanje raspoloživosti stroja, a to sve za posljedicu je imalo kašnjenje u isporukama. Na temelju prikupljenih podataka od zadnjih šest mjeseci prije provedbe ovog projekta izračunat je OEE koji je u tom trenutku bio na niskoj razini. Isto tako se ustanovilo da u posljednjih šest mjeseci veliki broj proizvedenih komada imao unutarnji promjer van zahtijevanih tolerancija. Nakon što su potrebni podaci prikupljeni i ključne karakteristike kvalitete brojčano izražene pristupilo se fazi analize.

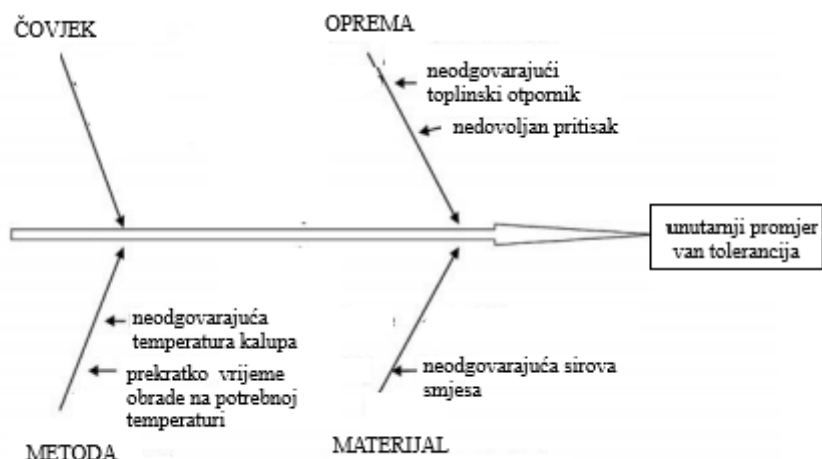
3.2.3. Faza analize

Prikupljeni podaci iz prethodne faze su se u ovoj fazi mogli analizirati kako bi se došlo do korijena uzroka problema. Održani su sastanci na kojima se raspravljalo o mogućim uzrocima, a mogući uzroci su prikazani pomoću dijagrama uzrok-posljedica.



Slika 3.14. Dijagram uzrok-posljedica za pripremno – završno vrijeme stroja [14]

Na slici 3.14. je prikazan dijagram uzrok-posljedica koji se odnosi na veliko pripremno - završno vrijeme stroja. Na veliko vrijeme utječu sam čovjek – operater zbog nedovoljnog treninga, različite razine znanja pojedinih operatora ili je jednostavno premali broj operatora za strojem. Oprema može utjecati na dugo pripremno – završno vrijeme zbog duljeg vremena stezanja vijaka i pojaseva, problem je i nedostatak standardne procedure te loša organizacija radnog mjesta. Analizirajući dijagram uvidjelo se da je jedno od mogućih rješenja primjena SMED i 5S alata.



Slika 3.15. Dijagram uzrok-posljedica za unutarnji promjer [14]

Na neodgovarajući unutarnji promjer prema slici 3.15 utječe ponovno sam stroj, metoda rada ili materijal. Tu se krenulo prvo od pretpostavke da je toplinski otpornik neodgovarajući pa se on promijenio, ali nakon tjedan dana probnog rada i dalje se javljao isti defekt. Nakon toga se promijenila smjesa za kalup, ali ponovno se u velikom broju slučajeva javljao isti defekt. Naposljetku se pristupilo provjeri utjecaja temperature kalupa na unutarnji promjer. Temperatura kalupa u proizvodnji varira između 40 i 60 °C, a preša PS12 je do tad radila na 42 °C zbog bržeg hlađenja. Provedena su testiranja na već spomenutoj temperaturi i na temperaturama od 50 i 58 °C da se odredi je li varijacija veličine unutarnjeg promjera povezana sa temperaturama kalupa, a prihvatljive tolerancije su unutar +/- 0.01 milimetra.

Temperatura [°C]	Broj komada sa dimenzijom unutarnjeg promjera u pojedinom intervalu tolerancija ovisno o temperaturi kalupa						Ukupan broj testiranih na pojedinoj temperaturi	
	Intervali tolerancija [mm]							
	<-0,01	-0,01:-0,006'	-0,007:-0,002	-0,003:+0,002'	+0,003:+0,006'	+0,007:+0,01'	>+0,01	
42	140	865	2498	2660	452	110	6	6731
50	5	230	1773	3070	1440	398	9	6925
58	12	72	1460	2400	2110	678	24	6756
Σ	157	1167	5731	8130	4002	1186	39	20412
Broj komada u pojedinom intervalu tolerancije								

Slika 3.16. Iznosi unutarnjeg promjera ovisno o temperaturi [14]

Sa slike 3.16. vidljivi su podaci koliko je komada proizvoda proizvedeno na pojedinoj temperaturi i koliko je njih imalo unutarnji promjer van spomenutih tolerancija. Provedeno je testiranje hipoteza primjenom X^2 testa. Razlog primjene tog testa je što se njim ispituje nezavisnost dvije varijable, u ovom slučaju unutarnji promjer i temperatura. Provedbom testa inicijalna hipoteza da unutarnji promjer ne ovisi o temperaturi kalupa je odbačena što znači da

pojava neodgovarajućih promjera i velika varijacija su povezani sa temperaturom kalupa što znači da se u fazi poboljšanja mora primijeniti optimalna temperatura.

3.2.4. Faza poboljšanja

U prethodnoj fazi je postalo uočljivo da bi rješenje za smanjenje pripremnog - završnog stroja bila implementacija SMED alata. Sve aktivnosti koje su potrebne za pripremu stroja za prijelaz proizvodnje jednog tipa proizvoda na drugi su snimljene i popisane, a zatim su se kategorizirale obzirom na to jesu li te aktivnosti vanjske ili unutarnje. Na kraju su se unutarnje aktivnosti nastojale transformirati u vanjske, a pri tome se koristila 5S metoda jer se željela postići bolja organizacija prostora i rad sa manje nepotrebnih pokreta. Izrađene su standardizirane upute za operatere i održan je trening operatera kako bi se upoznali sa novim načinom postavljanja stroja. Velik udio defektnih komada se riješilo namještanjem temperature kalupa na 50 °C. Tolika temperatura je odabrana iz dva razloga koji se mogu zaključiti na temelju poznavanja osnovnih znanja termodinamike i analize slike 3.16. Prema slici 3.16. se vidi da je najmanji broj komada sa neodgovarajućim tolerancijama unutarnjeg promjera bio na temperaturi od 50 °C. Kao dodatan plus je taj što manja temperatura odljevka znači i manje vrijeme hlađenja istog. Nakon što je pokrenuta proizvodnja sa navedenim poboljšanjima, ista se pratila jedan mjesec i na temelju dobivenih podataka zaključilo se da je pripremo – završno vrijeme stroja manje te se udio defektnih komada zbog neodgovarajućeg unutarnjeg promjera osjetno smanjio. Ukupna efikasnost opreme se isto tako povećala, a rezultat tog poboljšanja je manje kašnjenja sa isporukom. Svakako bi bilo dobro detaljnije analizirati zavisnost temperature kalupa i dimenzija odljevka. Jedna od mogućih tehnika kojom bi se provela detaljnija analiza je dizajn pokusa (eng. *Design Of Experiments*). Ova tehnika se koristi inače za provođenje i analizu kontroliranih testova kojima se utvrđuje utjecaj različitih parametara na krajnji ishod (u ovom slučaju je krajnji ishod veličina unutarnjeg promjera, a parametar koji utječe je temperatura). Time bi se mogla matematički izraziti povezanost temperature kalupa i dimenzija unutarnjeg promjera što može rezultirati odabirom još prikladnije temperature kalupa od trenutne.

3.2.5. Faza kontrole

Kako bi se provedena poboljšanja održala i uvedeni su redoviti treninzi i edukacije o SMED i 5S alatima te će redovito provjeravati rad operatera i kontrola gotovih proizvoda. Standardizirani način rada će se nastojati primijeniti i na ostale dijelove pogona. Iako nije

navedeno, svakako bi bilo dobro koristiti kontrolne karte za praćenje rada procesa u vremenu. Korisno bi bilo i analizirati sposobnost procesa koja bi dala dobar uvid u stanje procesa i održava li se željena razina kvalitete.

3.2.6. Rezultati

U poglavlju 3.2.4. je ustanovljeno da je došlo do određenih poboljšanja u ključnim pokazateljima uspješnosti. Podaci prije i poslije implementacije LSS-a su prikazani u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Usporedba KPI za poduzeće B [14]

KPI	PRIJE LSS-a	POSLIJE LSS-a	RAZLIKA
Prosječno pripremno - završno vrijeme (prosječno odstupanje) [min]	140 (23,33)	50 (2,37)	Smanjenje za 64,29% (89,8%)
OEE	0,40	0,61	Povećanje za 52,5%
Udio isporuka isporučenih unutar traženog vremena (OTD-<i>on-time delivery</i>) [%]	60	98	Povećanje za 63,33%
Broj defektnih proizvoda na milijun komada- DPMU	20000	63	Smanjenje za 99,69%
Troškovi zaliha [€/mjesec]	6000	1300	Smanjenje za 78,33%
Troškovi ponovnih inspekcija [€/mjesec]	2000	500	Smanjenje za 75%
Uštedeno [€/mjesec]	6200		

Na temelju podataka se može vidjeti da je u određenim segmentima došlo do značajnih poboljšanja. Pripremno - završno vrijeme stroja se značajno smanjilo kao i varijacija. Glavni razlog tome je primjena SMED-a pomoću kojeg se veliki broj aktivnosti izvodi za vrijeme rada preše, a tome je pripomogla bolja organizacija radnog mjesta korištenjem 5S-a. Standardiziranim uputama se osiguralo da i u slučaju krivog postavljanja stroja operater može vrlo brzo ispraviti pogrešku. Smanjenje pripremnog - završnog vremena i varijacije istog je

rezultiralo većoj raspoloživosti stroja što je pridonijelo rastu OEE. Rastu OEE je pridonijelo i znatno smanjenje udjela defektnih proizvoda jer je to dovelo do povećanja kvalitete. Veća kvaliteta direktna je posljedica postavljanja odgovarajuće temperature kalupa što je rezultiralo puno manjim brojem odljevaka sa unutarnjim promjerom van traženih tolerancija. Smanjenje pripremnog - završnog vremena je sigurno uzrokovalo i bolji protok kroz proces čime je smanjeno nakupljanje materijala, a time i troškovi skladištenja zaliha. Spomenuta veća kvaliteta je rezultirala manjim brojem ponovnih inspekcija što je također rezultiralo uštedom. Na kraju, uz bolji protok kroz proces zbog kraće pripreme preše te puno manjeg udjela nesukladnih proizvoda OTD je značajno porastao čime se izbjegava plaćanje kazni radi kašnjenja isporuke. Kako je navedeni proizvod komponenta koja se ugrađuje u medicinske uređaje, sigurno bi bilo dobro provesti još neka poboljšanja u samom procesu kako bi se dodatno povećao udio OTD.

3.3. Proizvodno poduzeće C

U ovom poglavlju analizirat će se primjer jednog hrvatskog proizvodnog poduzeća koje provodi Lean i Šest Sigma metodologije. Prije početka analize mora se napomenuti da izvori o načinima i rezultatima primjene LSS metodologije za hrvatske tvrtke nažalost nisu dostupni te se moralo pristupiti kontaktiranju pojedinih firmi za koje postoji informacija da primjenjuju elemente i Lean-a i Šest Sigme. Upiti koji su upućeni odnosili su se na razloge uvođenja tih metodologija, na koji su se način uvodile, koja se metrika koristila i zašto, koji su se alati koristili za mjerenje i analizu stanja procesa koji se unaprjeđivao, što se primijenilo u svrhu poboljšanja te kakvi su bili rezultati primjene. Na kraju je određene informacije ustupila hrvatska proizvodna tvrtka Končar – Energetski transformatori d.o.o. Dodatno se napominje da informacije o načinu provedbe određenog projekta (slično kako je opisano u poglavljima 3.1. i 3.2. za strane firme) nisu bile dostupne, već se kroz intervju i prezentaciju u firmi predstavio način uvođenja Lean-a, a kasnije i Šest Sigme na općenitijoj razini. Isto tako, konkretne brojke o rezultatima odabranih ključnih pokazatelja uspješnosti prije i nakon primjene nisu bile dostupne iz razloga povjerljivosti podataka.

Končar – Energetski transformatori d.o.o. (u daljnjem tekstu KPT) je hrvatska proizvodna kompanija koja se bavi razvojem, konstruiranjem, proizvodnjom, testiranjem, prodajom i servisiranjem energetskih transformatora snage do 1000 MVA i napona do 550 kV. KPT je od 1995. godine u vlasništvu njemačke kompanije Siemens. Proizvodni program obuhvaća proizvodnju generatorskih transformatora, velikih prijenosnih i autotransformatora,

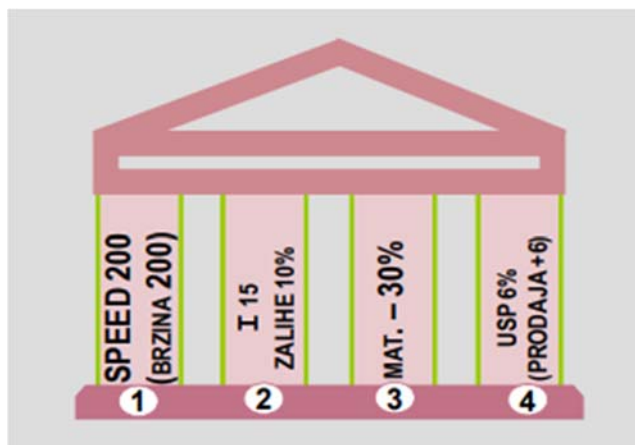
transformatora za istosmjerni prijenos energije, transformatora za posebne namjene (npr. industrijske peći, ispravljačke, za željeznice) i servis i revitalizaciju starih transformatora. Vizija je poduzeća biti najprofitabilniji dobavljač velikih energetske transformatora sa prihodima od 120 milijuna €. Misija je poduzeća povećati što je moguće više poslovnu vrijednost sadašnjega i budućega asortimana, inovativnost, raditi vrijednost i pružati rješenja koju konkurencija ne može. [15]

3.3.1. Projekti unaprjeđenja

KPT je počeo sa projektima unaprjeđenja pomoću Lean metodologije još 1998., ali ne pod nazivom Lean. Iako su se problemi javljali i prije, što je neizbježno za svako poslovanje, te godine se odlučilo pristupiti rješavanju istih na malo drugačiji način. Poteškoće s kojima se tada susrelo poduzeće su [15]:

- Pad potražnje za energetske opremom
- Jača konkurencija
- Smanjenje cijena sa tendencijom daljnjeg pada
- Manje cijene konkurencije

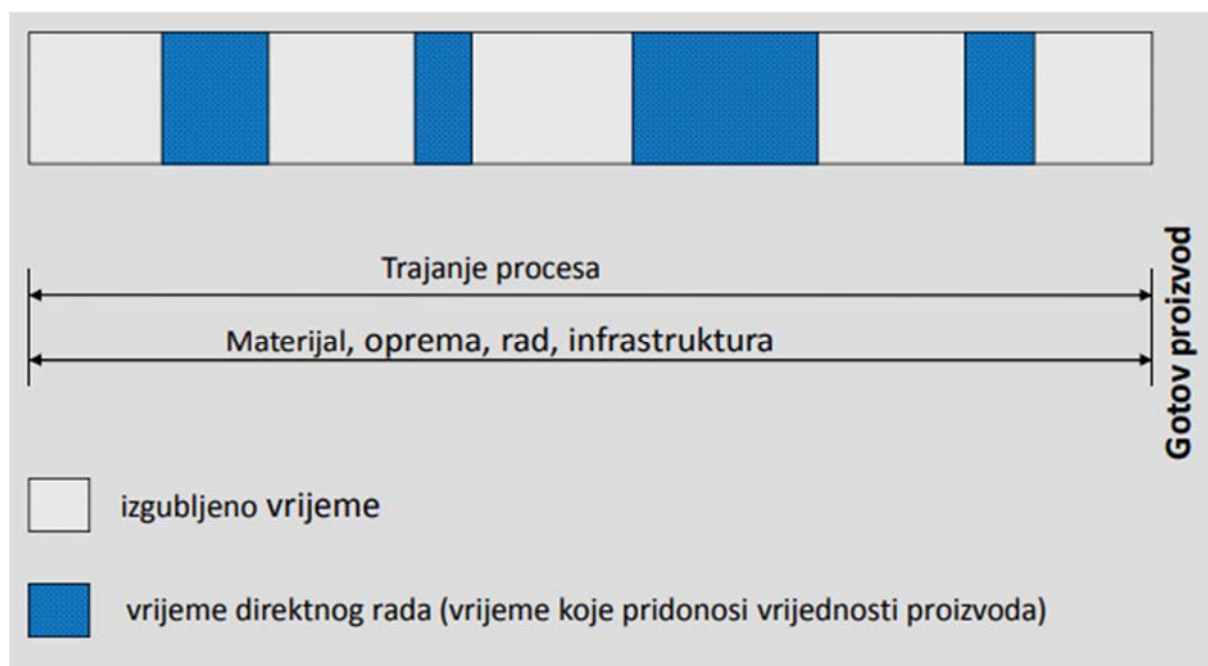
Tada se donijela strateška odluka da se smanje troškovi proizvodnje za 30% preko dva segmenta: povećanja produktivnosti i smanjenja troškova procesa, kapitala i materijala. U tu svrhu se pokrenuo projekt „Tempel“.



Slika 3.17. Projekt „Tempel“ [15]

Na slici 3.17. prikazana je struktura projekta. Prema slici je vidljivo da se zapravo cijeli projekt unaprijeđenja sastojao od 4 „stupa“ od kojih svaki stup predstavlja određen manji projekt, a provođenje svakog od njih je trebalo pridonijeti postizanju krajnjeg zahtjeva smanjenja troškova proizvodnje. Prvi stup se odnosi na projekt Speed 200. Cilj toga projekta je povećanje brzine protoka za dva puta u svim segmentima. To znači da se nastojalo ubrzati protočnost materijala kroz proizvodni proces te smanjenje trajanja pojedinih operacija i čekanja koliko je to bilo moguće da se brzina protoka poveća dva puta. Jedan od mogućih pokazatelja koliko je brz protok u procesu bi bila propusnost (eng. *throughput*) kojom bi se pratilo broj proizvedenih komada u jedinici vremena (obzirom da se transformatori koje KPT proizvodi sastoje od približno dvanaest tisuća dijelova prikladno bi bilo koristiti broj dana kao jedinicu vremena). Drugi stup je predstavljao projekt I 15 čiji je cilj bio smanjiti nivo zaliha za 10 %, odnosno željelo se postići da nivo zaliha bude dovoljan za naredna tri mjeseca. Tako bi se smanjile zalihe što je onda vrlo vjerojatno rezultiralo i smanjenjem troškova skladištenja i većom iskoristivosti prostora. Treći stup se odnosio na smanjenje troškova materijala, a cilj je bio za 30 % smanjiti iste (kroz 3 godine). Pretpostavka je da se u tu svrhu možda promijenio dobavljač ili se mijenjao dizajn pojedinih transformatora kako bi se moglo uštediti na materijalu. Zadnji stup je predstavljao cilj povećanja prodaje za 6% godišnje. Ponovno se pretpostavlja da bi se do povećanja prodaje došlo zahvaljujući ubrzanju proizvodnog procesa jer se time povećava već spomenuta propusnost. Veći broj proizvedenih proizvoda automatski znači veću ponudu, a time onda rastu i šanse za većom prodaju.

Prije provedbe navedenih projekata potrebno je bilo nekoliko stvari ustanoviti. Kako bi se neki proces mogao unaprijediti potrebno je poznavati što čini taj proces odnosno od kojih se aktivnosti sastoji. KPT se u tu svrhu koristio Lean principom određivanja vrijednosti svake aktivnosti koji je opisan u poglavlju 2.2.1.



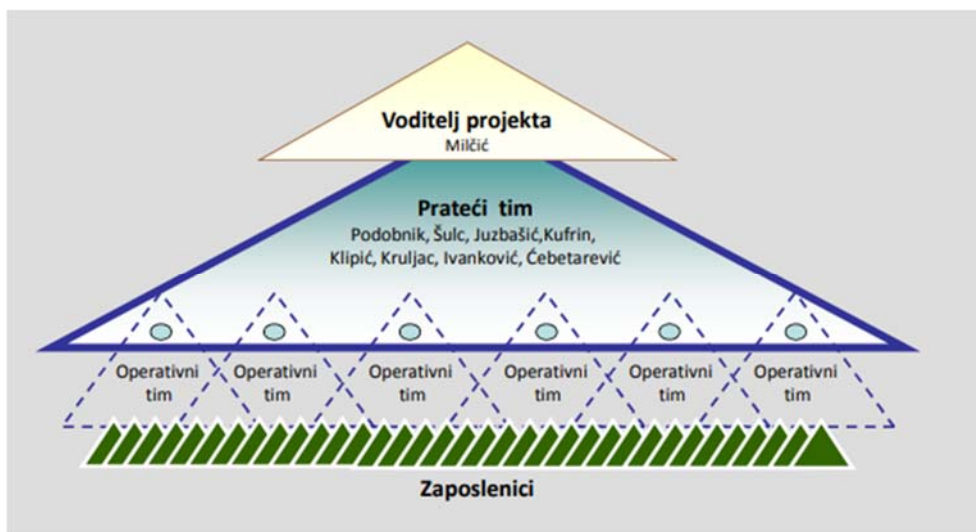
Slika 3.18. Osnovna spoznaja o procesu [15]

Na slici 3.18. prikazan je način podjele aktivnosti u proizvodnom procesu u KPT-u. Vidljivo je da su se sve aktivnosti dijelile na one koje direktno dodaju vrijednost proizvodu (VA) i aktivnosti koje su čisti gubitak (W). Aktivnosti koje spadaju pod NVA su se pribrajale W aktivnostima vjerojatno zbog lakšeg uočavanja koje aktivnosti treba reducirati ili eliminirati. Zatim je bilo potrebno napraviti koncept unaprjeđenja [15]:

- Ustanoviti sustav praćenja nesukladnosti u procesu, proizvodu i uslugama – pretpostavlja se da su se u tu svrhu koristile kontrolne karte, a granice specifikacije je mogao definirati sam KPT na osnovu zahtjeva kupca
- Implementacija potrebnih znanja u procesu (upute, tolerancije, način kontrole, potrebne kvalifikacije) – uvedena je samokontrola čime se smanjuju troškovi plaćanja drugih radnika zaposlenih za provođenje kontrole
- Ustanoviti način analize nesukladnosti, razloge i troškove – u ovom dijelu su se mogli primijeniti alati LSS-a poput analize potencijalnih problema, Ishikawa dijagram ili *5why's*

- Ustanoviti sustav unaprjeđenja – određivanje mogućih korektivnih i preventivnih radnji, a tu se moglo ponovno kroz analizu potencijalnih problema odrediti koje su to korektivne i preventive radnje za određeni problem
- Praćenje izvršenja – odražavali su se tjedni sastanci na kojima se pratilo stanje pojedinih projekata.

Ključan dio prije početka bilo kakvih projekata je organizacija tima koji provodi pojedini projekt jer je potrebno poznavati tko je za što u projektu odgovoran. U slučaju pojave nekih problema zna se kome se treba obratiti, tko je zadužen za pojedini dio, a to ujedno olakšava i praćenje projekata.



Slika 3.19. Podjela uloga za provedbu projekta [15]

Slika 3.19. prikazuje kako se pristupilo organizaciji i podijeli odgovornosti za projekte unaprjeđenja. Operativni timovi su bili zaduženi za pojedine mjere kojima su se rješavali uočeni problemi.

Bitno je napomenuti da se nakon tih projekata ušlo u sustav kontinuiranog poboljšavanja (KPP – kontinuirano poboljšavanje procesa) koje se temelji na ljudima, procesima, proizvodima i problemima. Kontinuirano poboljšavanje se temelji na ljudima jer su upravo zaposlenici poduzeća ti koji prate procese i mogu uvidjeti prostore za napredak, a isti onda i u dogovoru sa nadređenima provode. Kontinuirano unaprjeđenje može se ostvariti na razini cijele firme jedino ako su svi zaposlenici uključeni. Cilj kontinuiranog poboljšanja je unaprjeđenje i procesa i proizvoda. U ovim početnim projektima su se primjenjivali Lean alati poput 5S. Iako Šest

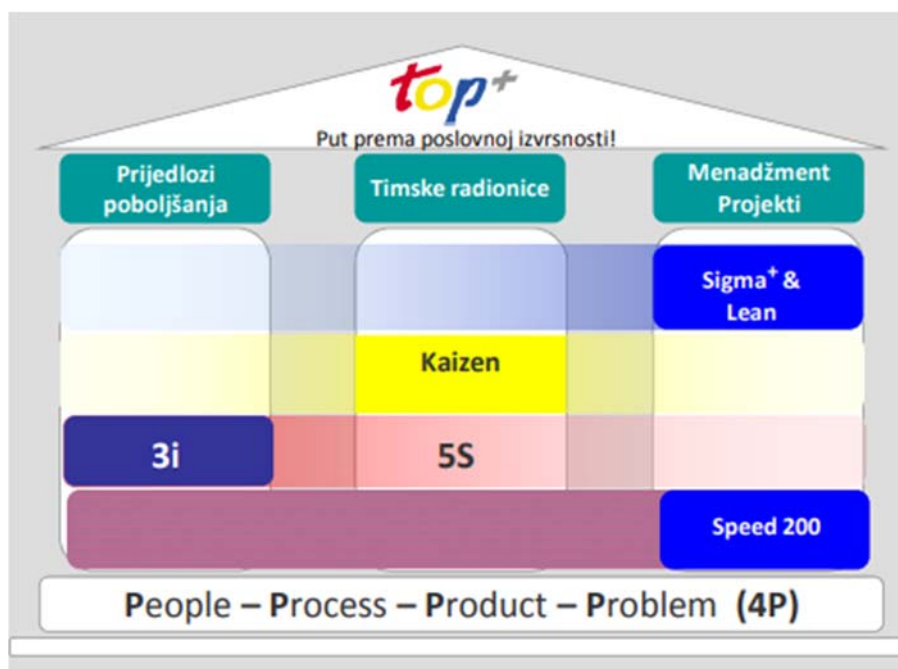
Sigma nije implementirana, neki alati poput kontrolnih karata koristili su se za praćenje nesukladnosti.



Slika 3.20. Primjena 5S [16]

Slika 3.20. prikazuje rezultat primjene 5S metode. Karakteristično je za KPT što su 5S metodi u nazivu dodali još jedan S (6S metoda) koji označava sigurnost na radnom mjestu iz čega se može zaključiti da je, uz težnju da je radni prostor sređen i organiziran, izuzetno bitno raditi u sigurnoj radnoj okolini što bi trebalo biti bitno svakoj firmi koja brine o svojim radnicima. Uz 5S su se provodile i Kaizen radionice, odnosno ohrabrivale se i poticalo radnike da prijave uočeni problem, vide li rješenje za problem i kako bi proveli to rješenje.

Ulazak u svijet KPP-a je značio ujedno i nastavak unaprjeđenja procesa što je rezultiralo i daljnjim projektima od kojih su neki prikazani na slici 3.21.



Slika 3.21. Projekt Top+ [15]

Idući projekt Top+ se također sastojao od određenih manjih projekata koji su predstavljali „stupove“- Projektom 3i (Ideja, Inicijativa, Implementacija) se nastojalo poticati zaposlenike na nastavak predlaganja mogućih poboljšanja što povlači sa sobom nastavak primjene Kaizena gdje su se vodile rasprave o prijedlozima te održavanje već implementiranog 5S sustava. Na temelju prethodno napisanog može se zaključiti da je KPT uvidio koliko je bitno saslušati zaposlenike koji svakodnevno rade unutar procesa (i proizvodnih i administrativnih) te da oni koji su upoznati sa radom najbolje mogu vidjeti gdje je prostor za moguće unaprjeđenje. Usporedbom sa drugim pogonima uvidjela se potreba za smanjenjem varijabilnosti u procesima, a u tu svrhu se pokrenuo projekt Sigma+. Cilj je bio povećati razinu izvedbe nekih procesa za 1 σ . Sama logika nalaže da je praktički nemoguće za očekivati da proizvodi koji se sastoje od toliko dijelova kao transformatori koje KPT proizvodi budu na razini 6 σ pa se iz tog razloga nastojalo da prinos prvog prolaza bude na razini 3 σ . Unaprjeđenja unutar Sigma+ projekata su se provodila projektnim pristupom kroz DMAIC. To znači da se svakom unaprjeđenju pristupalo kao projektu te se provodilo školovanje zelenih i crnih pojaseva. Svaki odjel je odvojio zelenog pojasa koji je potom prošao edukaciju, a nakon toga pristupio projektu provedbe unaprjeđenja. Kod svakog projekta unaprjeđenja je prvo potrebno razumjeti trenutno stanje. U svrhu definiranja trenutnog stanja izrađivali su se dijagrami toka procesa te VSM mapa. Isto tako su se, ovisno o potrebi, primjenjivali različiti Šest Sigma alati za analizu procesa poput Pareto dijagrama koji bi mogao pokazati koja je greška najčešća ili 5 *why's* metoda za

pronalazak korijena uzorka problema. Provođenje projekta Sigma+ je značilo kombiniranje alata iz Šest Sigme i Lean-a. Prema slici 3.20. se može vidjeti da se nastojalo i dalje ubrzati proizvodni proces (projekt Speed 200). Za uspostavljanje kontinuiranog toka se uz organizaciju radnog mjesta koristio i SMED, a učinak primjene tog alata dan je na slici 3.22.



Slika 3.22. Predviđeni rezultati primjene SMED metode [15]

Na slici je vidljivo kako je procjena za smanjenje pripremnog – završnog vremena iznosila 36% što predstavlja znatno smanjenje.

KPT u svrhu svojih projekata provodio također školovanje zaposlenika. U sklopu projekta Sigma+ je školovano 44 ljudi, a idućim projektom – SVE 5 (Sustav Visoke Efikasnosti Procesu Energetskih Transformatora) je dodatno školovano 25 ljudi koji su bili vlasnici procesa ili odgovorni za proces. Znanje o načinu kako pristupiti problemu i analizi istog je ključno da bi se moglo doći do rješenja koje će rezultirati napretkom u poslovanju. Od 2015. godine se nastoji uvoditi vizualno upravljanje projektima. Tehnikama vizualnog upravljanja i praćenja procesa čak i osoba koja nije upoznata sa procesom može vrlo brzo vidjeti i shvatiti proces te uočiti što nije pod kontrolom.

3.3.2. Rezultati

Kako je spomenuto u poglavlju 3.3.1., projekti u sklopu programa „Temple“ su se provodili sa ciljem smanjenja troškova proizvodnje jer je tada bilo takvo stanje na tržištu da su se troškovi jednostavno morali smanjiti. Kroz svaki projekt se nastojalo unaprijediti proizvodne procese

preko smanjenja zaliha, troškova materijala, povećanja protočnosti i prodaje. Tablicom 3.3. dan je prikaz pojedinih ciljeva i jesu li oni ostvareni.

Tablica 3.3. Rezultati projekta „Tempel“ [15]

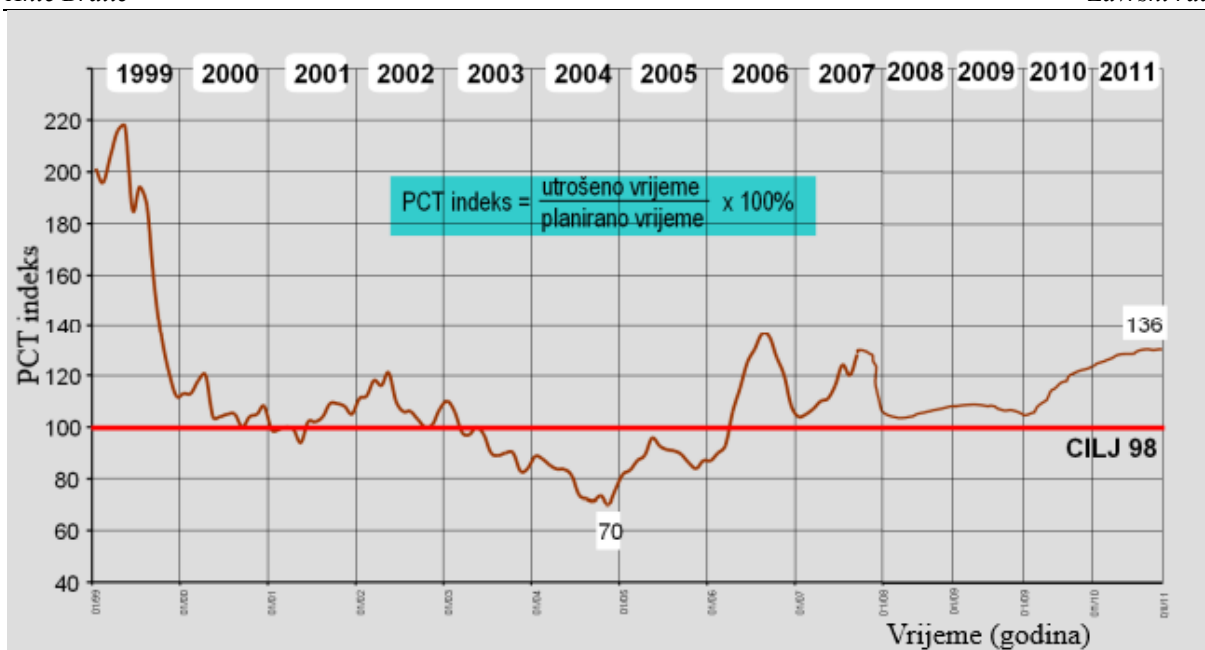
CILJ	OSTVARENO
Povećanje brzine protoka dva puta	DA
Smanjenje troškova materijala za 30%	DA
Povećanje prodaje za 6% godišnje	NE (u kasnijim godinama DA)
Smanjenje razine zaliha za 10%	DA

Kao što je vidljivo iz tablice, provedeni projekti su rezultirali poboljšanjem. Neki ciljevi su odmah ostvareni, a neki ne prve godine, ali u kasnijima da. Ono što je bitno za napomenuti je to da su svi ciljevi nadmašeni, dakle rezultati projekata su bili bolji od očekivanih što je dalo temelj za daljnje provođenje i već spomenuti ulazak u proces kontinuiranog poboljšavanja. Uz spomenuto slušanje zaposlenika i njihovih prijedloga svakako je bilo bitno i dobro strukturirano vodstvo te raspodjela uloga u pojedinom projektu jer time svatko zna svoju zadaću, a nadređeni znaju što od koga očekivati.

Poboljšanje protočnosti proizvodnih procesa se nastojalo postići provođenjem projekta Speed 200, a rezultati su bili sljedeći [15]:

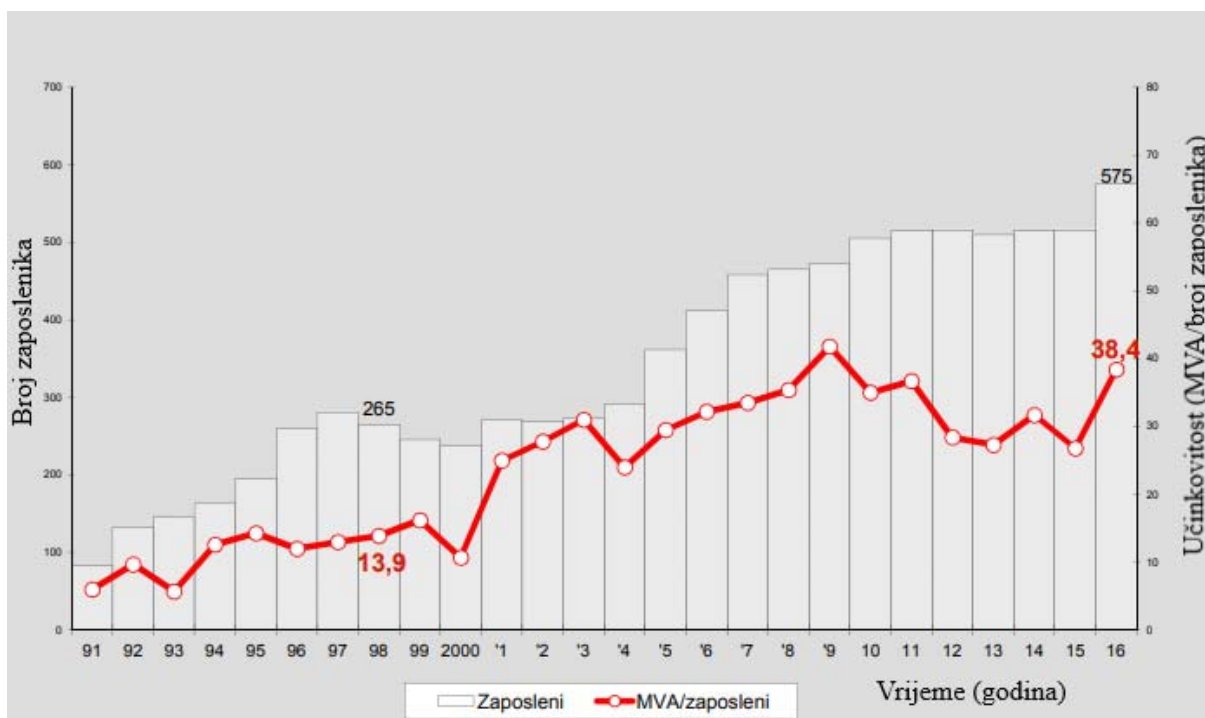
- Smanjenje troškova kvalitete
- Znatno smanjenje direktnih sati
- Pojednostavljenje i smanjenje broja aktivnosti
- Kraće trajanje procesa
- Manje investicije i zalihe
- Smanjenje troškova, povećanje konkurentnosti
- „povećanje“ prostora – prostor je bio uređen i organiziran

Za praćenje kontinuiranog poboljšanja i općenito procesa KPT koristi nekoliko ključnih pokazatelja uspješnosti. Jedan od njih je i PCT indeks odnosno indeks vremena ciklusa proizvodnje prikazan na slici 3.23. PCT indeks se izračunava dijeljenjem utrošenog vremena za pojedinu aktivnost/proces i planiranog vremena.



Slika 3.23. Promjena PCT indeksa u razdoblju 1999. -2012. [16]

Na slici 3.23. se može uočiti znatan pad od početka provedbe prvih projekata unaprjeđenja. Nakon 2004. godine indeks ponovno lagano raste što bi se moglo pripisati mogućim složenijim projektima. Druga mogućnost bi bila da su kupci tražili kraće vrijeme isporuke što je onda rezultiralo prekovremenim satima i povećanje broja radnih dana. Jedan interni ključni pokazatelj uspješnosti dan je na slici 3.24.



Slika 3.24. Odnos broja zaposlenih i MVA/broj zaposlenika [15]

Slika 3.24. prikazuje kretanje broja zaposlenih u razdoblju 1991. – 2016. Interni ključni pokazatelj uspješnosti je omjer snage proizvedenih transformatora izraženih u megavoltamperima (MVA) i broja zaposlenih. Navedeni indikator uspješnosti se može promatrati kao učinkovitost – koliko se „snage“ proizvede po zaposlenom. Vidi se da je na početku provođenja projekata u sklopu programa „Temple“ bilo 265 zaposlenih, a omjer MVA/zaposleni je iznosio 13,9. 2016. godine je broj zaposlenih iznosio 575, a omjer MVA/broj zaposlenih je bio 38,4. Dakle, za udvostručeni broj zaposlenika je navedeni omjer skoro trostruko porastao što znači da je došlo do povećanja učinkovitosti. Može se zaključiti da je takav rezultat posljedica smanjenja vremena proizvodnje i troškova te uređenja prostora što je dovelo do povećanja kapaciteta i mogućnosti proizvodnje većeg broja transformatora veće snage.

Kao primjer jednog projekta unutar Sigma+ dan je projekt korekcije proračunskog broja komada limova za jezgre. Projekt se provodio prema DMAIC metodi. Iz dostupnih informacija se dalo zaključiti da se nastojalo odrediti optimalan broj komada limova za jezgre transformatora uzimajući u obzir što manje troškove materijala i rada. Rezultati projekta su dani tablicom 3.4.

Tablica 3.4. Rezultati jednog projekta u sklopu Sigma+ [16]

	Uštedeno vrijeme ili materijal	Ušteda u NJ
Rad stroja	157,5 h	7897 €
Rad poslužioca	315 h	5467 €
Slaganje jezgre	37,5 h	651 €
Materijal	2825 kg	7345 €
	Σ	21360 €

Provedbom projekta došlo je do [16]:

- Smanjenja broja potrebnih narezivanja lima
- Smanjenja zastoja tijekom slaganja jezgre
- Smanjenja otpadnog materijala
- kvalitetnije popunjenosti jezgre

Ušteda u vremenu rada stroja za rezanje lima je rezultat smanjenja broja potrebnih narezivanja lima za jezgru. Smanjenjem vremena rada stroja se smanjilo i vrijeme rada poslužioca što je rezultiralo uštedama i u tom segmentu. Smanjenje otpadnog materijala je rezultat smanjenja broja komada lima potrebnog za narezivanje i smanjenja broja narezivanja. Rezultat reduciranja vremena rada stroja, poslužioca i slaganja jezgre su uštede u svim navedenim područjima. Ušteda u iznosu od preko 20000 € je dobar pokazatelj uspješnosti primjene Lean-a i Šest Sigme u KPT-u.

4. USPOREDBA REZULTATA

Kako je navedeno u poglavlju 3 sva poduzeća su provedbom projekata unaprjeđenja prema LSS metodologiji poboljšala svoje procese te povećala kvalitetu proizvoda u smislu manjeg udjela nesukladnih proizvoda odnosno povećanju prinosa prvog prolaza. Tablicom 4.1. dan je prikaz iznosa povećanja ili smanjenja ključnih pokazatelja uspješnosti za pojedine tvrtke.

Tablica 4.1. Usporedba ključnih pokazatelja uspješnosti za odabrana poduzeća [13] [14] [15]

PODUZEĆA			
KPI	A	B	C*
DPU	50% smanjenje	99,69% smanjenje	Znatno smanjenje
OTD	-	63,33% povećanje	Znatno povećanje
OEE	42,18% povećanje	52,5% povećanje	-
FPY	0,01% povećanje	2,03 % povećanje	Znatno povećanje
Pripremno - završno vrijeme	14,19% smanjenje	64,29% smanjenje	Znatno smanjene
Troškovi	-	6200 €/mjesec manje	21360 € manje

Za one ključne pokazatelje uspješnosti koji se nisu koristili kao metrika u procesima je polje u tablici ostavljeno prazno. Što se tiče poduzeća C konkretni podaci za navedene indikatore uspješnosti nisu bili dostupni već je rečeno da su smanjenja i povećanja istih velika. U poglavlju 3.3.2. je prikazan interni KPI za poduzeće C koji je svojevrsan pokazatelj povećanja učinkovitosti što je rezultat provođenja Lean i Šest Sigma metodologija kroz nekoliko projekata. Prilikom usporedbe sa A i B poduzećima smanjenja i povećanja ključnih pokazatelja uspješnosti za poduzeće C treba uzeti sa rezervom (zato su označeni sa *) jer su znatna poboljšanja rezultat kontinuiranog unaprjeđenja kroz nekoliko godina. Mjerodavno bi bilo za uspoređivanje poduzeća C sa ostala dva poduzeća koristiti rezultate poboljšanja nakon jednog provedenog projekta zato što su prikazani rezultati iz tablice 4.1 za poduzeća A i B dobiveni nakon jednog projekta poboljšanja. Teoretski je moguće usporediti iznose ušteda za poduzeća B i C zbog toga što su nastala kao rezultat provedbe jednog projekta. Problem je to što nije do kraja definirano odnosi li se ušteda od 6200 € po mjesecu za poduzeće B na proizvodnju jedne serije za koju je trebalo mjesec dana ili je jedan mjesec samo uzet kao vremenska jedinica unutar koje se pratilo smanjenje troškova proizvodnje. Za poduzeće C se na temelju ustupljenih

informacija može pretpostavljati da se navedena ušteda odnosi na proizvodnju jednog transformatora odnosno jedne isporuke, ali iz već spomenutih razloga vezanih za iznos uštede za B poduzeće ne bi bilo mjerodavno uspoređivati navedena poduzeća preko indikatora uštede. Što se tiče poduzeća A i B, u tablici se može primijetiti da je udio defektnih proizvoda pao u oba poduzeća. Puno veći iznos pada za poduzeće B je rezultat promjene onog parametra (temperature kalupa) koji je prema provedenoj analizi bio jedini uzrok za pojavu nesukladnih komada. Kod poduzeća A su postojali još neki uzroci koji su u manjoj mjeri uzrokovali nesukladnost tako da bi se moglo pretpostaviti da otklanjanjem tih uzroka bi se udio nesukladnih komada dodatno smanjio. Uz smanjenje udjela nesukladnih komada se odmah može vezati i prinos prvog prolaza te se ponovno vidi značajno povećanje kod poduzeća B u odnosu na A. Razlog tome je identičan kao i za smanjenje udjela defektnih komada., u poduzeću B se otklonio jedini uzrok pojave nesukladnosti, a u poduzeću A postoji još parametara koji u manjoj mjeri utječu na defekte. Iznosi povećanja OEE-a za poduzeća A (42,18%) i B (52,5%) su relativno slični. Veće povećanje kod B poduzeća se može pripisati velikom skoku u kvaliteti, ali i većem smanjenju pripremnog - završnog vremena stroja. Pripreмно - završno vrijeme za poduzeće A ipak treba prilikom usporedbe sa vremenom poduzeća B uzeti sa rezervom. Smanjenje pripremnog - završnog vremena za poduzeće B se odnosi samo na vrijeme potrebno za pripremu jednog stroja, dok se kod poduzeća A to smanjenje odnosi na cijeli proces, dakle za više radnih stanica.

Na temelju prikazanih podataka je vidljivo da su poduzeća A i B ostvarila svoje ciljeve provođenjem projekta unaprjeđenja pomoću LSS-a. Isto tako poduzeće C je imalo velikih uspjeha u svojim projektima uvođenja Lean-a i Šest Sigme. Ono što je bitno za uočiti da su poduzeća, analizirana u poglavlju 3, većinom koristila iste alate u provedbi LSS projekata.

Tablica 4.2. Korišteni alati [13] [14] [15]

	A	B	C
DMAIC	✓	✓	✓
5S	✓	✓	✓
SMED	✓	✓	✓
VSM	✓	-	✓
Kaizen	-	-	✓
Dijagram Uzrok- Posljedica	✓	✓	✓
Pareto	✓	-	✓
PPA	✓	-	Nema informacije
Testiranje hipoteza	-	✓	Nema informacije

Tablica 4.2 prikazuje korištene alate u provedbi LSS projekata u sva tri poduzeća. U sva tri poduzeća se u provedbi projekata unaprjeđenje provodilo DMAIC pristupom. Isto tako su se alati 5S i SMED koristili u sva tri poduzeća. Razlog tome leži u relativno jednostavnoj primjeni tih alata koji ne zahtijevaju veće poznavanje statistike kao kod nekih alata Šest Sigme. U poduzeću B se VSM nije provodio iz razloga što je fokus bio na jednoj radnoj stanici odnosno stroju, dok se u poduzećima A i C koristio za prikaz toka vrijednosti u procesu, ali i općenito trenutnog stanja procesa. U poduzećima A i B se Kaizen nije primjenjivao, ali može se reći da su ipak razgovori sa radnicima nekakav početni oblik Kaizena. Dijagram uzrok – posljedica se koristio u sva 3 poduzeća, a ponovno razlog može biti u činjenici da je to relativno jednostavan alat kojim se brzo mogu otkriti mogući uzroci problema. U poduzeću A se koristio PPA dijagram kako bi se otkrili koji su najčešći i najozbiljniji problemi te se moglo onda u daljnjim fazama na njih fokusirati. Pareto se u poduzeću B nije primjenjivao ponajviše zbog toga što su mogući uzroci defekata bili poznati pa se u tu svrhu radije provelo testiranje hipoteza da se dokaže povezanost mogućeg uzroka i posljedice.

5. ZAKLJUČAK

Analizirana poduzeća i dobiveni rezultati primjene LSS metodologije pokazuju koliko ona može biti učinkovita. Primjer poduzeća A je pokazao da se primjenom Lean alata i Šest Sigme kod analize procesa može znatno smanjiti vodeće vrijeme proizvodnje, ali i preraspodijeliti opterećenje pojedinih radnih stanica što je na kraju rezultiralo i smanjenjem potrebnog broja radnika. Kao dodatan plus došlo je do povećanja OEE. Primjer proizvodnog poduzeća B je pak pokazao da se LSS metodologija može učinkovito primijeniti i na samo jednu radnu stanicu te da otkrivanje uzroka nesukladnosti pomoću Šest Sigme i otklanjanje iste može značajno povećati kvalitetu i smanjiti udio nesukladnih proizvoda za preko 90%. U ovom slučaju se još primjenom Lean alata znatno smanjilo pripremno - završno vrijeme (i varijacija vremena) stroja, a takvo poboljšanje je rezultiralo i velikim napretkom u učinkovitosti istog. Sa druge strane, primjer proizvodnog poduzeća C govori da dugogodišnja primjena Lean-a te nešto kasnije uvođenje i Šest Sigme može rezultirati značajnim uštedama ne samo u vremenu proizvodnje nego i u troškovima materijala. Na primjeru samo jednog projekta u sklopu provođenja Lean-a i uvođenja Šest Sigme je došlo do znatnog reduciranja troškova. Kod poduzeća C je također bitno naglasiti prepoznavanje važnosti edukacija u provođenju Lean i Šest Sigma projekata jer školovanjem zaposlenika se osigurava da se takva metodologija kontinuiranog poboljšanja provodi na više razina u poduzeću. Time ljudi dodatno razvijaju kritički pogled prema procesima te se razvijaju sposobnosti uočavanja prilika za moguća unaprjeđenja procesa.

Sva 3 poduzeća posluju u različitim sektorima proizvodnje, a provedeni projekti su rezultirali velikim uspjesima što pokazuje veliki potencijal LSS metodologije za primjenu u raznim granama proizvodnje, a vrlo vjerojatno i izvan te industrije. Uz strukturiranu analizu procesa kroz DMAIC i primjenu Šest Sigma alata te brzo, a relativno jednostavno otklanjanje gubitaka pomoću Lean-a, može se reći da LSS metodologija kao metodologija kontinuiranog unaprjeđenja nudi velike mogućnosti za uspostavljanje visoke kvalitete proizvoda, fleksibilnu proizvodnju, brzu isporuku te veći profit.

LITERATURA

- [1] Watson, G. H.: *ESTIEM Lean Six Sigma Green Belt Course online materials*, 2018.
- [2] <https://goleansixsigma.com/what-is-lean-six-sigma/> (pristupljeno 15.8.2021.)
- [3] <https://asq.org/quality-resources/six-sigma> (pristupljeno 15.8.2021.)
- [4] Lekšić, I.: *Model izbora vitkih alata pri restrukturiranju poduzeća*, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2020.
- [5] <https://www.mbizm.com/smed-fundamentals-productivity-case-cost-effectiveness/> (pristupljeno 30.8.2021.).
- [6] Lazibat, T., Baković, T.: *Šest Sigma sustav za upravljanje kvalitetom*, Poslovna izvrsnost 1(2007)1, 55-66.
- [7] <https://www.sixsigmacouncil.org/6-sigma-body-of-knowlege/> (pristupljeno 4.9.2021.)
- [8] Čelar, D., Valečić, V., Željezić, D., Kondić, Ž.: *Alati za poboljšanje kvalitete*, Tehnički glasnik 8(2014)3, 258-268.
- [9] Mijoč, J.: *Predavanja iz kolegija Statistička analiza poslovnih podataka: Deskriptivna statistika SPSS*. Osijek, Ekonomski fakultet, 2017.
- [10] Valjak, M.: *Metodologija poboljšavanja kvalitete „6 sigma“*, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2007.
- [11] Kovačić, G., Kondić, Ž.: *Statistička analiza sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije*, Tehnički glasnik 6(2012)2, 191-198.
- [12] Yadav, G., Desai, N. T.: *Lean Six Sigma: a categorized review of the literature*, International Journal of Lean Six Sigma 7(2016)1, 2-24.
- [13] Swarnakar, V., Vinodh, S.: *Deploying Lean Six Sigma framework in an automotive component manufacturing organization*, International Journal of Lean Six Sigma 7(2016)3, 267-293.
- [14] Chiarini, A.: *Improvement of OEE performance using a Lean Six Sigma approach: an Italian manufacturing case study*, International Journal of Productivity and Quality Management 16(2015)4, 416-433.
- [15] Materijali ustupljeni od strane poduzeća Končar – energetske transformatori d.o.o.
- [16] <https://issuu.com/svijet-kvalitete.com/docs/zeljko-cebetarevic-poslovna-izvrsnost-pristup-i-is> (pristupljeno 5.9.2021.)