

Unaprjeđenje procesa u procesnoj industriji

Bošnjak, Jakov

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:298346>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Jakov Bošnjak

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Student:

Jakov Bošnjak

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se, prije svega, svojim roditeljima, majci Voliji i ocu Miri što su uvijek vjerovali u mene. Majci posebno hvala jer me je naučila odgovornosti i dobrim životnim vrijednostima. Također, veliko hvala mom ocu na savjetima i podršci koju mi je pružao tokom obrazovanja, ali i života.

Zahvaljujem se svome mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću na savjetima, znanju i vremenu uloženom u moj osobni i profesionalni razvitak, ne samo za vrijeme izrade ovog rada, već tokom cijelog preddiplomskog studija.

Zahvaljujem se svim kolegama koji su učinili da ovo studiranje prođe što bezbolnije i uz puno lijepih trenutaka.

Zahvaljujem se svojoj sestri Ruti i bratu Šimunu za pruženu ljubav, podršku i razumijevanje u trenucima kada nisam bio dostupan, nastojati ću to promijeniti.

Zahvaljujem se svojoj djevojci Milici jer mi svaki dan pruža podršku, ljubav i razumijevanje za stvari koje radim te jer u pravom trenutku zna uputiti pravu riječ.

Jakov Bošnjak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum 3. 11. 2021	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 - 405	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Jakov Bošnjak** JMBAG: **0035217595**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Unaprjeđenje procesa u procesnoj industriji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Process improvement in process industry**

Opis zadatka:

Unaprjeđenje procesa predstavlja veliki izazov za menadžment svih poslovnih sustava. Ovaj izazov se javlja i u procesnoj proizvodnji, a posebno u proizvodnji proizvoda koji imaju izraženu sezonalnost. Poduzeća koriste različite pokazatelje uspješnosti kako bi pratili svoje poslovanje i donosili ispravne odluke. Jedan od pokazatelja je i OEE čija niska vrijednost često bude vezana uz mnogobrojne zastoje. Brojna poduzeća primijenila su neke od alata lean menadžmenta kako bi optimizirala svoje procese, a jedan od često korištenih alata je SMED.

U radu je potrebno:

1. Opisati procesni pristup upravljanju proizvodnjom.
2. Definirati lean six sigma metodu i opisati njezinu primjenu u proizvodnim poduzećima.
3. Definirati ključne pokazatelje uspješnosti koje koriste kompanije u različitim industrijama s fokusom na procesnu industriju.
4. Istražiti primjenu SMED alata u različitim industrijama te navesti primjere primjene u procesnoj industriji i prikazati možebitne razlike i sličnosti u primjeni.
5. Na realnom primjeru prikazati primjenu SMED alata i kvantificirati očekivana poboljšanja.
6. Predložiti digitalni sustav koji bi pomogao u realizaciji predstavljenih poboljšanja.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

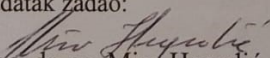
Datum predaje rada:

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

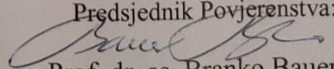
Predviđeni datumi obrane:

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

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. PROCESNA PROIZVODNJA.....	2
3. PROCESNI PRISTUP UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM	4
3.1. Poslovni proces	4
3.1.1. Vrste poslovnih procesa	5
3.2. Procesni pristup upravljanju.....	6
3.2.1. Usporedba procesnog i funkcijskog pristupa	7
3.2.2. Principi procesnog pristupa upravljanja.....	9
3.2.4. Povijesni razvoj procesnog pristupa	11
4. LEAN SIX SIGMA METODOLOGIJA U PROIZVODNJI	13
4.1. Lean Six Sigma uloge u organizacijskoj strukturi	15
4.2. DMAIC pristup	17
4.3. Lean menadžment	19
4.3.1. Lean principi	21
4.3.2. Lean alati u procesnoj industriji.....	22
4.3.2.1. 5S	22
4.3.2.2. Mapiranje procesa – dijagram toka.....	24
4.3.2.3. Standardizacija rada	26
4.3.2.4. SMED	26
4.3.2.5. Presjek primjene SMED alata.....	28
4.4. Six Sigma metodologija	30
4.4.1. Sposobnost procesa	32
5. KLJUČNI POKAZATELJI USPJEŠNOSTI.....	34
5.1. Vodeće vrijeme	34
5.2. OEE.....	34
5.3. Prinos prvog prolaza (FTY)	35
6. PRIMJENA SMED ALATA U ODABRANOM PODUZEĆU.....	38
6.1. Ograničenja	38
6.2. Uvodno.....	38
6.3. DMAIC pristup	39
6.3.1. Faza definiranja.....	40
6.3.1.1. Projektna povelja	40
6.3.1.2. SIPOC dijagram	41
6.3.1.3. Povijesna analiza podataka	42

6.3.2. Faza mjerenja	42
6.3.2.1. Mapiranje početnog stanja	43
6.3.2.2. Vremenska analiza početnog stanja	46
6.3.3. Faza analiziranja	47
6.3.3.1. Operacija pranja i izmjene alata na dozatoru br.1	47
6.3.3.2. Operacija izmjene podložaka	48
6.3.4. Faza poboljšanja.....	49
6.3.5. Usporedba početnog i teorijski poboljšanog stanja.....	53
7. ZAKLJUČAK.....	54
LITERATURA.....	55

POPIS SLIKA

Slika 1.	Primjer diskretnog proizvodnog procesa [3]	2
Slika 2.	Primjer procesnog postrojenja – naftna rafinerija [5]	3
Slika 3.	Shematski prikaz procesa	4
Slika 4.	Osnovna podjela poslovnih procesa [11]	5
Slika 5.	Prikaz funkcijske i procesno orijentirane organizacijske strukture	8
Slika 6.	Faze razvoja procesnog pristupa	11
Slika 7.	Uloge u primjene Lean Six Sigma metodologije [24].....	15
Slika 8.	Izlazi faza DMAIC pristupa	17
Slika 9.	Shematski prikaz SDCA i PDCA ciklusa – prilagođeno iz [25].....	20
Slika 10.	Principi Lean menadžmenta – prilagođeno iz [30]	21
Slika 11.	5S alat – koraci [33]	23
Slika 12.	Simboli dijagrama toka	24
Slika 13.	Dijagram toka – radna verzija	25
Slika 14.	Dijagram toka – digitalizirana verzija	25
Slika 15.	SMED shematski prikaz [30]	27
Slika 16.	Presjek industrija koje su sudjelovale u studiji – prilagođeno iz [37].....	28
Slika 17.	Prikaz Lean alata korištenih u kombinaciji sa SMED alatom – prilagođeno iz [37]	29
Slika 18.	Formula za izračun sposobnosti procesa	32
Slika 19.	Formula za izračun OEE	35
Slika 20.	Model mjerenja ključnih pokazatelja uspješnosti u procesnoj industriji	36
Slika 21.	Polazna metrika proizvodnih linija.....	39
Slika 22.	Projektna povelja	40
Slika 23.	SIPOC dijagram	41
Slika 24.	Normirano vrijeme trajanja izmjene alata za grupe proizvoda	43
Slika 25.	Dijagram toka – početno stanje	44
Slika 26.	Klasifikacija aktivnosti – dozatora br.1	47
Slika 27.	Klasifikacija aktivnosti – Zamjena podložaka	48
Slika 28.	Prikaz predloženih unaprjeđenja	49
Slika 29.	Shematski prikaz raspodjele aktivnosti nakon normiranja.....	51
Slika 30.	Pomična kolica	52
Slika 31.	Shematski prikaz raspodjele aktivnosti – Izmjena podložaka.....	53

POPIS TABLICA

Tablica 1. Razlike između diskretne i procesne proizvodnje – prilagođeno iz [2]	3
Tablica 2. Osnove razlike procesnog i funkcijskog pristupa [14]	8
Tablica 3. Opis principa procesnog upravljanja – prilagođeno iz [12]	9
Tablica 4. Komplementarnost primjene Lean i Six Sigma filozofije [20]	13
Tablica 5. Ciljevi metodologija [21]	14
Tablica 6. Razine kvalitete u Six Sigma metodologiji [48]	31
Tablica 7. Odnos sposobnosti procesa i razine kvalitete [50]	33
Tablica 8. Raspodjela vremena aktivnosti kritičnog puta	46
Tablica 9. Usporedba početnog i teorijski poboljšanog stanja	53

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis
5S	Vitki alata za održavanje radnog mjesta čistim i sigurnijim
Cp	Indeks sposobnosti procesa
DMAIC	Definiraj, Izmjeri, Analiziraj, Poboljšaj, Kontroliraj (eng. <i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>)
FTY	Prinos prvog prolaza (eng. <i>First Time Yield</i>), mjera uspješnosti proizvodnje iz prvog pokušaja
ISO	Međunarodna organizacija za normiranje
KPI	Ključni pokazatelji uspješnosti (eng. <i>Key Performance Indicators</i>)
LSL	Donja granica specifikacije (eng. <i>Lower Specification Limit</i>)
NVAT	Vrijeme koje ne dodaje vrijednost (eng. <i>Non Value Adding Time</i>)
OEE	Cjelokupna učinkovitost opreme (eng. <i>Overall Equipment Effectiveness</i>)
PDCA	Planiraj – Učini – Provjeri – Djeluj (eng. <i>Plan – Do – Check – Act</i>)
SDCA	Standardiziraj – Učini – Provjeri – Djeluj (eng. <i>Standardize – Do – Check – Act</i>)
SIPOC	Dijagram koji jednostavno opisuje cjelokupan proces od dobavljača od kupca
SMED	Brza izmjena alata (eng. <i>Single Minute Exchange of Die</i>)
TPS	Toyotin proizvodni sustav (eng. <i>Toyota production system</i>)
USL	Gornja granica specifikacije (eng. <i>Upper Specification Limit</i>)
WT	Vrijeme koje je čisti gubitak (eng. <i>Waste</i>)
σ	Standardna devijacija

SAŽETAK

Ovaj završni rad obrađuje temu unaprjeđenja procesa u procesnoj industriji koristeći Lean Six Sigma metodologiju i njene alate. Definiran je pojam procesno orijentiranih organizacija te moderni poslovni pristupi koji su posljedično nastali. Zatim je opisana konkretno Lean Six Sigma metodologija zajedno s njenim principima te su definirani alati koji se koriste u procesnoj industriji. Nadalje, konkretno za primjenu SMED alata objašnjeni su i analizirani primjeri različite primjene. Također, praćenje razine izvedbe je veoma važno pa su definirani i ključni pokazatelji uspješnosti s naglaskom na one u procesnoj industriji. U konačnici na praktičnom primjeru je opisana primjena SMED alata u kombinaciji s ostalim Lean alatima, koristeći DMAIC pristup problemskom rješavanju.

Ključne riječi: Lean Six Sigma, Lean, Six Sigma, SMED, DMAIC

SUMMARY

This bachelor's thesis is about improving processes in the process industry by implementing the Lean Six Sigma methodology and its tools. Term process oriented organizations is defined, as well as working approach which appeared as a consequence. Furthermore, the Lean Six Sigma methodology is described with its tools which are used in the process industry. In addition, examples for implementing SMED tools are explained and analyzed. Also, keeping in mind that tracking the work scope is very important, the key process indicators are defined, with an emphasis on the ones used in the process industry. Finally, in the practical example, the use of SMED tools combined with other Lean tools is explained, using the DMAIC approach in problem solving.

Key words: Lean Six Sigma, Lean, Six Sigma, SMED, DMAIC

1. UVOD

U današnjem svijetu količina i brzina kojom se promjene javljaju na tržištu predstavljaju glavne izazove kompanijama u njihovom poslovanju. Također, isto vrijedi i za proizvodnu industriju.

Kompanijama je sve teže zadovoljiti potrebe svojih kupaca, stoga su se modernim pristupom upravljanja tokom godina razvile metodologije koje im u tome pomažu. Među metodologijama istaknula se upravo Lean Six Sigma metodologija koja strukturiranim pristupom otklanja gubitke i varijacije iz njihovih proizvoda i poslovnih procesa.

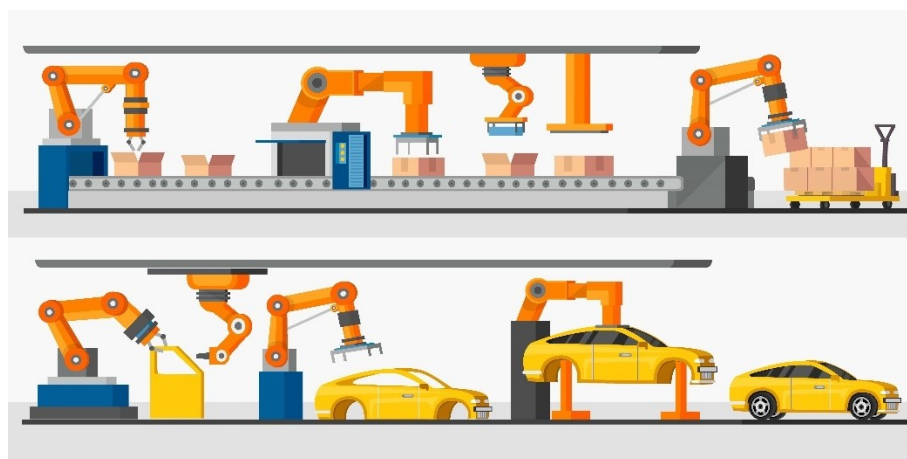
U procesnoj industriji zbog tehnologije i načina proizvodnje proizvoda jedan od izazova predstavlja fleksibilno planiranje proizvodnje kako bi se zadovoljile potrebe tržišta. Kao glavni faktor fleksibilnosti planiranja proizvodnje izdvaja se vrijeme potrebno da se proizvodna linija podese za proizvodnju novog proizvoda. Navedena vremena mogu imati i višesatnu duljinu trajanja ovisno o vrsti proizvodne linije na kojoj se proizvod proizvodi.

Jedan od alata iz Lean Six Sigma metodologije je upravo SMED alat koji omogućava kompanijama da skrate vrijeme trajanja izmjene alata, stoga ovaj završni rad upravo obrađuje temu primjene SMED alata u procesnoj industriji kako bi se dokazao utjecaj njegove primjene na povećanje fleksibilnosti prilikom planiranja proizvodnje.

2. PROCESNA PROIZVODNJA

Proizvodnja je proces transformiranja resursa (eng. *input*) u proizvode ili usluge (eng. *output*). Ona je dio ekonomske aktivnosti i ima sposobnost stvaranja dodane vrijednosti proizvoda i usluga. Kao postupak dodane vrijednosti, proizvodnja omogućuje sirovinama da prođu kroz proces promjene kako bi postale dijelom proizvoda i na kraju se prodavale po višoj cijeni od vrijednosti sirovina.

Proizvodnju je moguće opisati i podijeliti na mnogo načina, ali kada govorimo o tehnologiji i tehnici kojom se proizvod proizvodi onda govorimo o diskretnoj i procesnoj proizvodnji. Diskretnu proizvodnju karakterizira to što se svaki postupak može podijeliti u različite korake te se svaka aktivnost procesa može odvijati neovisno od ostalih. To diskretnu proizvodnju čini fleksibilnijom i lakšom za planiranje. Izlaz svake pojedine aktivnosti diskretnog procesa predstavlja osnovni dio, sklop ili poluproizvod koji je moguće skladištiti prije upotrebe na slijedećoj operaciji [2].



Slika 1. Primjer diskretnog proizvodnog procesa [3]

Za razliku od diskretne proizvodnje, procesna proizvodnja odnosi se na proizvodnju robe koja se ne može vratiti natrag do svojih osnovnih komponenata. Time je ostavljeno manje prostora za pogrešku pa su standardi kvalitete u procesu veći u procesnoj industriji.

Procesna proizvodnja je proizvodna metoda koja kombinacijom sastojaka i sirovog materijala pomoću formule ili recepta stvara svoja dobra. Važno je naglasiti da se u procesnoj industriji proizvod izlaže toplinskim i kemijskim promjenama što rezultira da, kako je već navedeno, se proizvod ne može rastaviti na osnovne komponente [4].

Procesna proizvodnja dosta se oslanja na tok svakog procesnog koraka budući da sljedeća operacija ne može započeti dok prethodna ne završi. Zbog velikih izazova u planiranju i praćenju proizvodnje kompanije svoja rješenja nalaze u softverskim alatima pomoću kojih održavaju optimalnu operativnu učinkovitost. Kao glavni predstavnici procesne industrije ističu se prehrambena industrija, farmaceutska industrija, naftna industrija, industrija osobne kozmetike te proizvodnja plastike i metala.

Tablica 1. prikazuje spomenute razlike diskretne i procesne proizvodnje, a Slika 2. prikazuje primjer naftne rafinerije.

Tablica 1. Razlike između diskretne i procesne proizvodnje – prilagođeno iz [2]

DISKRETNA PROIZVODNJA	PROCESNA PROIZVODNJA
Proizvodi su sačinjeni od dijelova koje je moguće fizički prebrojati	Proizvodi su proizvedeni koristeći formulu kako bi pretvorili ulazni materijal
Proizvodi se mogu rastaviti na osnovne dijelove nakon sklapanja te reciklirati ili ukloniti nakon prestanka uporabe	Proizvodi ne mogu biti rastavljeni na svoje osnovne dijelove
U diskretnoj proizvodnji koristi se sastavnica kao referenca za sklapanje finalnog proizvoda	Kao referenca za proizvodnju koristi se formula ili recept
Montaža se vrši linarno ili načinom usmjeravanja	Proizvodi se proizvode serijski (eng. <i>Batch</i>)
Primjeri diskretne proizvodnje su automobili, elektromotri, računala itd.	Primjer procesne proizvodnje su farmaceutska industrija, prehrambena industrija, industrija nafte itd.



Slika 2. Primjer procesnog postrojenja – naftna rafinerija [5]

3. PROCESNI PRISTUP UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM

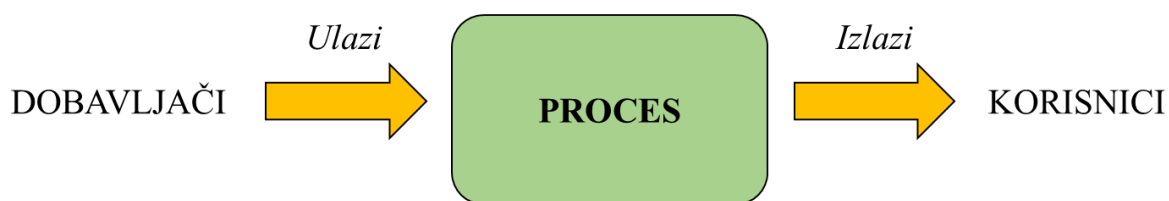
Svaka organizacija, tako i ona proizvodna, neovisno o organizacijskoj strukturi i pristupu, vrsti poslovanja i veličini ima svoje poslovne procese kojima stvara vrijednost za svog krajnjeg korisnika.

Kako bi se kvalitetno i dobro opisao procesni pristup upravljanja potrebno je krenuti od osnovne definicije pojma, a to je značenje riječi proces.

3.1. Poslovni proces

Proces je slijed radnji koje se provode radi postizanja određene svrhe ili cilja. Koncept procesa definiran je u mnogim područjima kao što su kemija, informatika, biologija, ali i u poslovnom svijetu. Tako je kroz godine pojam procesa u poslovnom smislu bio opisivani više puta.

Poslovni proces je skup aktivnosti koje transformiraju ulazne resurse, jedan ili više njih, u izlaze koji imaju za cilj stvoriti vrijednost za korisnika [6]. Također, važno je naglasiti da poslovni procesi imaju jasno definiranu komponentu vremena i prostora unutar kojih se odvijaju [7]. Proširujući osnovnu definiciju, dolazimo do dodatnih zahtjeva koje poslovni procesi moraju zadovoljiti. Sami ili u interakciji sa drugim procesima moraju na efikasan i efektivan način doprinositi stvaranju vrijednosti za korisnika, trebaju biti upravljani na pravilan način, ali i trebaju stvarati potencijal za ostvarivanje konkurentske prednosti [8].



Slika 3. Shematski prikaz procesa

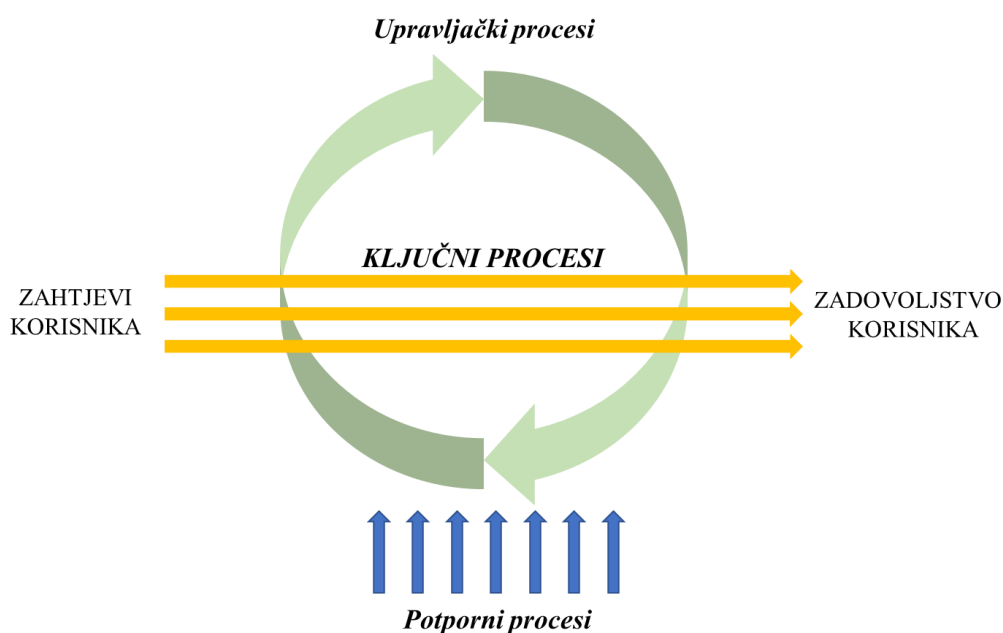
Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) definirala je pojam procesa skoro na identičan način u svojoj normi ISO 9001:2015 – „skup međusobno povezanih ili međusobno djelujućih aktivnosti koji pretvara ulazne elemente u izlazne“ [9]. Norma ISO 9001:2015 obuhvaća sve zahtjeve sustava za upravljanje kvalitetom (eng. *Quality management systems*), a u proizvodnoj industriji smatra se relevantnim standardom zbog zahtjeva tržišta i industrijskih trendova, ali i jer sama norma kaže da se sustav može najbolje prikazati upravo procesnim pristupom [10].

Svaka organizacija ima mnogo poslovnih procesa, no nisu svi od jednake važnosti za organizaciju i krajnjeg korisnika. Proces se mogu razlikovati po mnogočemu, na primjer svojoj učestalosti, važnosti, svrsi ili utjecaju na funkcionalnost organizacije. Danas se ističu kao najvažnija i najvrjednija imovina organizacije te tako omogućavaju organizacijama veću uspješnost po pitanju brzine, kvalitete, troškova, ali u novije vrijeme i inovacija [11].

Zbog njihove važnosti u organizacijskoj strukturi poduzeća u narednom odlomku će se detaljnije obraditi podjela poslovnih procesa.

3.1.1. Vrste poslovnih procesa

Unatoč mnogim podjelama poslovnih procesa, danas je najviše prihvaćena podjela na – upravljačke poslovne procese, ključne poslovne procese i potporne procese [12]. Shematski prikaz podjele prikazan je na Slici 4. Brojni upravljački, ključni i potporni procesi se odvijaju istovremeno unutar procesne strukture organizacije, a karakterizira ih niz međusobnih interakcija od kojih svaka utječe na sposobnost rezultata poslovnog procesa.



Slika 4. Osnovna podjela poslovnih procesa [11]

Upravljački poslovni procesi (eng. *Management processes*) važni su za odvijanje ključnih poslovnih procesa, ali i potpornih procesa. Zbog smjera svojeg djelovanja na ključne poslovne procese i sveobuhvatnosti također se nazivaju i okomitim poslovnim procesima. Njima se najčešće bave menadžeri najviše razine, a u njih ubrajamo procese razvoja, planiranja, strateškog odlučivanja, investiranja i upravljanjem ustroja čitave organizacije. [13]

Ključni poslovni procesi (eng. *Core processes*) još se nazivaju i glavnim ili operativnim procesima, a zbog svog djelovanja unutar organizacije nazivaju se još i vodoravnim poslovnim procesima. Usredotočeni su na ispunjavanje zahtjeva krajnjeg korisnika te su tako i generator njihovog zadovoljstva, ali unutar organizacije su prepoznatljivi po tome što direktno dodaju vrijednost proizvodu ili usluzi. Također, izlaz ključnih poslovnih procesa, bilo da se radi o proizvodu ili usluzi, ima izravnu potvrdu na tržištu na kojem se plasira. [13]

Potporni procesi (eng. *Support processes*) usmjereni su na stvaranje zadovoljstva unutarnjih korisnika procesa, dakle zaposlenika. Takvi procesi predstavljaju pomoćne procese koji indirektnim djelovanjem mogu ostvariti dodanu vrijednost za korisnika. Spomenuta dodana vrijednost ostvaruje se kroz potporu ključnim poslovnim procesima. Također, kao i upravljački procesi, mogu se smatrati okomitim poslovnim procesima zbog smjera djelovanja na ključne procese u organizaciji. [14]

3.2. Procesni pristup upravljanju

Organizacije koje još uvijek djeluju u uvjetima stabilnog i predvidljivog okruženja, koje često nazivamo tradicionalne organizacije, nisu imale potrebu pratiti događanja u svojoj okolini pa tako niti potrebu da prilagođavaju svoju strategiju, strukturu i procese. Međutim, poznato je da je počela nova era poslovanja u kojoj je velikim organizacijama sve teže održavati vlastitu konkurentsku poziciju na tržištu. Razlog toga leži u manjim i fleksibilnijim organizacijama koje imaju sposobnost prilagodbe tržištu u relativno kratkom roku.

Tradicionalne organizacije imaju brojne probleme koji nastaju kao posljedica njihove glomazne strukture podijeljene u funkcijske cjeline. Međutim, suvremena teorija i praksa upravljanja organizacijama razvila je pristup kao odgovor na spomenute izazove. Navedeni pristup podrazumijeva da organizacije nisu orijentirane na svoje funkcije, već su usmjerene na želje i

potrebe kupca ili korisnika kroz usredotočenost na vlastite procese pomoću kojih stvaraju proizvodnu vrijednost [15]. Orijentacija prema kupcima naglašena je kao ključna i polazišna osnova takvog pristupa [11].

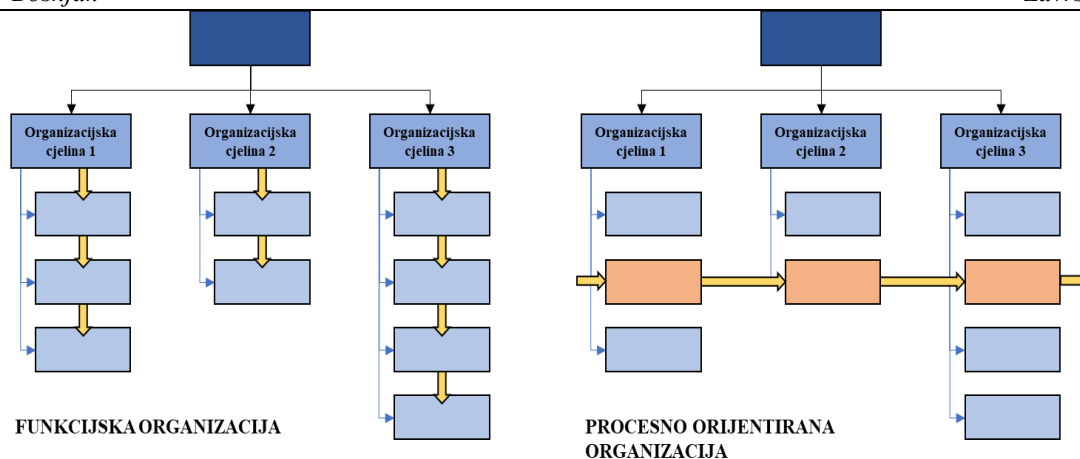
Takav način upravljanja organizacijama naziva se procesni pristup, budući da se pažnja kreće od gotovih proizvoda ili usluga prema onom skupu aktivnosti koji ih oblikuje. Uzimajući u obzir važnost samih organizacijskih procesa za stvaranje vrijednosti, osnovna je zamisao da se organizacijski procesi kontinuirano unaprjeđuju te da se njima pravilno upravlja [16].

Svrha procesnog pristupa upravljanja je optimiziranje poslovnih procesa, uz minimalno uložene resurse, a s ciljem dobivanja što efikasnijeg i efektivnijeg poslovnog rezultata. Iako se takav pristup čini potpuno logičan, njegova primjena često od poduzeća zahtjeva radikalne promjene u pristupu i načinu razmišljanja o poslovnim operacijama [14]. Također, važno je naglasiti da neovisno primjenjuje li organizacija procesni pristup ili ne, poslovni procesi unutar nje svakako postoje budući da se pomoću njih odvija svakodnevno poslovanje, no često nisu eksplicitno izraženi, stoga je upravljačkom kadru teško njima upravljati. Procesni pristup upravo čini ključne organizacijske procese vidljivijima što omogućava njihovo lakše upravljanje i unaprjeđivanje, ali i dopušta zaposlenicima da razumiju svoju ulogu unutar organizacije [11].

Organizacije koje su prihvatile takav način upravljanja, kako bi se uspjele brzo prilagoditi i reagirati na tržišne situacije, imaju minimalan broj hijerarhijskih razina. Takva struktura im omogućava, uz vertikalni, i horizontalni protok informacija i resursa, zbog čega ih u literaturi još nazivamo horizontalne organizacije [15]. Zanimljivo je kako implementacija procesnog pristupa može biti višerazinska, odnosno može obuhvaćati cijelu organizaciju, ali može i biti lokalizirana na samo jedan dio organizacije.

3.2.1. Usporedba procesnog i funkcijskog pristupa

Procesna i funkcijska organizacijska struktura usko su vezane, no ipak se mnogo razlikuju. Funkcijsko orijentirana organizacija usmjerena je na ono što se radi, dok je procesni pristup upravljanju usmjeren na način kako je nešto napravljeno. Pojam funkcija osnovni je element funkcijskog sustava, dok kod procesno orijentiranog sustava pojam funkcija također postoji, ali s drugom svrhom. Unutar procesne organizacijske strukture funkcijska struktura predstavlja okvir unutar kojeg ona djeluje [17].



Slika 5. Prikaz funkcijske i procesno orijentirane organizacijske strukture

Članovi funkcijsko orijentiranih organizacija usredotočeni su na zadovoljstvo nadređenih umjesto zadovoljstva krajnjeg korisnika budući da je posvećenost radnika usmjerena na funkcijske ciljeve, prije nego na one organizacijske. Nadalje, funkcijski pristup se većim dijelom odvija unutar jedne organizacijske jedinice koja po funkciji dobiva svoje ime, za razliku od procesnog pristupa koji nalaže uključenost većeg broja organizacijskih jedinica kao što to prikazuje Slika 5. Promatrajući samo naziv pojedinog sustava da se naslutiti da je funkcijski sustav statički, dok je procesni sustav po definiciji dinamički. Funkcijskim organizacijskim cjelinama upravljaju menadžeri, a u drugom slučaju procesni tim na čelu s procesnim menadžerom upravlja procesom. Procesni pristup ima puno širi horizontalni obuhvat poslovnih funkcija, u idealnom slučaju donosi uvid u poslovne procese od jednog do drugog kraja organizacije tj. na proces u cjelini.

Tablica 2. Osnove razlike procesnog i funkcijskog pristupa [14]

<i>Kategorija</i>	PROCESNI PRISTUP	FUNKCIJSKI PRISTUP
Usredotočenost pristupa	U središtu pristupa je način obavljanja posla (poslovni proces)	U središtu su proizvodi i usluge
Usmjerenost zaposlenih	Procesno usmjereni na zadovoljavanje potreba krajnjeg korisnika	Funkcijska usmjerenost na zadovoljavanje potreba nadređenih
Smjer i protok informacija	Horizontalna komunikacija i brz protok informacija	Vertikalna komunikacija i spor protok informacija
Hijerarhija organizacije	Plitka hijerarhija i organska struktura	Duboka hijerarhija i birokratska struktura
Ključne osobe	Vlasnici procesa kao ključne pozicije	Funkcijski menadžeri kao ključne pozicije
Proizvod/Usluga	Fleksibilni i prilagodljivi proizvodi	Jednostavni i standardizirani proizvodi
Radni tok	Pojednostavljeni i povezani radni tokovi	Isprekidani radni tokovi
Pristup unaprjeđenju	Timski rad i međufunkcijska suradnja	Funkcijska suboptimizacija

Iako bi se o razlikama između dva pristupa moglo pričati mnogo, one najvažnije sažete su u Tablici 2.

3.2.2. Principi procesnog pristupa upravljanja

Osim do sad već spomenutih osnovnih karakteristika procesnog pristupa, usredotočenost na procese i orijentacija prema kupcu, procesni pristup podrazumijeva i slijedeće organizacijske vrijednosti – timski rad, kontinuirano unaprjeđenje, jasne kompetencije i odgovornosti, upravljanje pomoću ciljeva, sustav nagrađivanja i poduzetništvo [17].

Svaki od principa procesnog upravljanja detaljnije je razrađen u Tablici 3.

Tablica 3. Opis principa procesnog upravljanja – prilagođeno iz [12]

PRINCIPI PROCESNOG UPRAVLJANJA			
Naziv principa	Opis	Naziv principa	Opis
Timski rad	Procesni pristup podrazumijeva uključenost više organizacijskih cjelina u proces, stoga je timski rad osnova za funkcioniranje procesa	Upravljanje pomoću ciljeva	Procesni ciljevi te ciljevi zaposlenika trebali bi biti povezani i usmjereni na zahtjeve korisnika
Kontinuirano unaprjeđenje	Tržišni zahtjevi i okolina se konstantno mijenjaju pa je tako i osnovna promisao kontinuirano unaprjeđenje organizacije, odnosno njenih poslovnih procesa u svrhu prilagođavanja tržišnim zahtjevima	Sustav nagrađivanja	Stimulira se nagrada za poslovnu učinkovitost zaposlenika koja podržava ostvarivanje ciljeva
Jasne kompetencije i odgovornosti	Pojam procesnog upravljanja horizontalan je za razliku od vertikalnog funkcijskog sustava te tako eksplicitno ističe odgovornosti svih uključenih u proces	Poduzetništvo	Procesi predstavljaju zasebne entitete s nezavisnom odgovornošću za ostvarivanje poslovnih rezultata pa tako omogućavaju zaposlenicima da se organiziraju shodno zadanim ciljevima

3.2.3. Prednosti i nedostaci procesnog pristupa

Procesni pristup zbog svoje specifičnosti, ukoliko dobro iskorišten, značajno pridonosi ukupnom poslovnom rezultatu pa tako govorimo o četiri vrste pozitivnih utjecaja procesnog pristupa na uspješnost poslovanja.

Prednosti procesnog pristupa [11]:

- Izravno povećanje prihoda

- Izravno smanjenje troškova
- Neizravno povećanje prihoda
- Neizravno smanjenje troškova

Povećanjem produktivnosti i efikasnosti procesa stvara se kvalitetniji proizvod ili usluga što uzrokuje veću potražnju tržišta, a samim time i povećanjem prihoda od prodaje proizvoda. Takav utjecaj procesnog pristupa nazivamo izravno povećanje prihoda. Kada govorimo o izravnom smanjenju troškova važno je naglasiti da su oni uzrok racionalizacije poslovanja. Efikasnije izvršavanje procesa ima za posljedicu skraćivanje vremena izvođenja procesa kroz preraspodjelu aktivnosti i uklanjanja aktivnosti koje ne dodaju vrijednost procesu, odnosno ne stvaraju vrijednost za krajnjeg korisnika. Neizravan doprinos povećanja prihoda ostvaruje se kroz unaprjeđenje poslovne prakse, a to se ostvaruje kroz neke od sljedećih aktivnosti – stvaranje pozitivnog imidža organizacije, inoviranje, razvoj odnosa s kupcima, razvoj međufunkcijskih odnosa i slično. Razvoj odgovarajuće organizacijske kulture i sustava upravljanja rezultira smanjenjem organizacijske birokracije te pospješuje razumijevanje poslovnih procesa, a takav utjecaj nazivamo neizravno smanjenje troškova. [11]

Slovenska studija [18] iz 2005. godine služi kao dokaz spomenutih prednosti u primjeni procesnog pristupa. Studija je provedena na uzorku od 1267 srednjih i velikih poduzeća te je dokazala sljedeće hipoteze:

- Povećanje procesne orijentacije dovodi do poboljšanja finansijskih performansi poduzeća
- Povećanje procesne orijentacije dovodi do poboljšanja nefinansijskih performansi kroz povećanje zadovoljstva kupaca, zaposlenih i dobavljača
- Poboljšanje nefinansijskih performansi dovodi do poboljšanja finansijskih performansi poduzeća
-

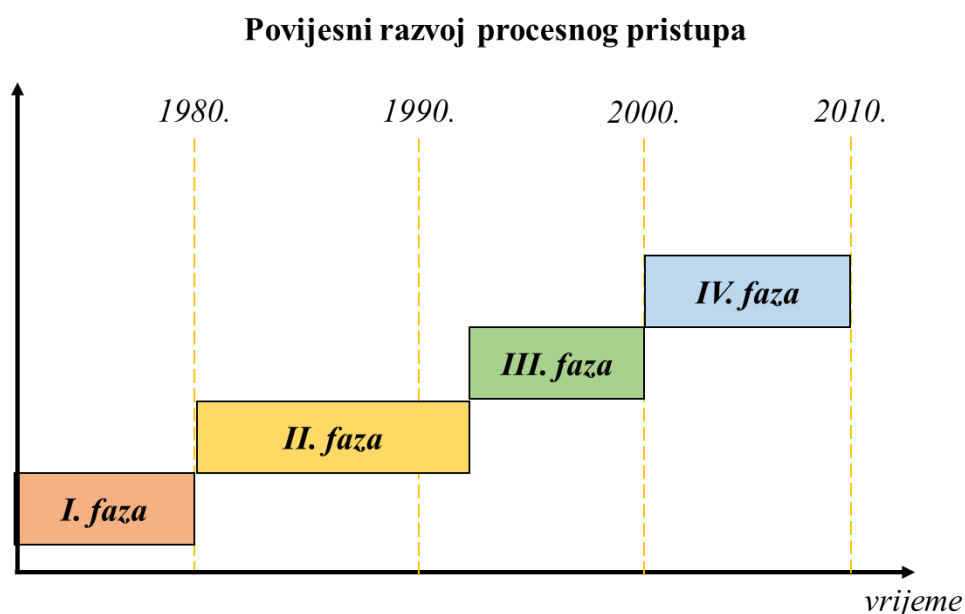
Važno je istaknuti da primjena procesnog pristupa, kao i svakog drugog, ima određene nedostatke. Kao veoma očit nedostatak ističu se hijerarhijske prepreke prilikom implementacije budući da većina organizacija ima funkcijsku strukturu u kojoj je svaka funkcijska jedinica

promatrana kao zasebna cjelina sa svojim ciljevima i strategijom. Nastavno, prilikom razdvajanja procesnih od funkcijskih aktivnosti može stvoriti izazove koji bi za posljedicu imali nesklad među zaposlenicima unutar organizacije. Navedeni nedostaci limitiraju uspjeh implementacije procesnog pristupa.

Također, upravljanje procesima zahtjeva veliku prednost i uloženo vrijeme u prvo razumijevanje procesa, a zatim i njihovu reorganizaciju. U tom procesu najveći izazovi su prouzrokovani lošim planiranjem ili općim nedostatkom potrebnog vremena i znanja. Za kvalitetnu implementaciju procesnog pristupa potrebne su radikalne promjene u kulturi, filozofiji upravljanja, organizaciji posla i drugim ključnim aspektima poduzeća.

3.2.4. Povijesni razvoj procesnog pristupa

Kako je prikazano na Slici 6., procesni pristup upravljanja imao je četiri faze razvoja unutar kojih su se razvili mnogi moderni, danas primjenjivani, pristupi procesnog upravljanja.



Slika 6. Faze razvoja procesnog pristupa

U prvoj fazi razvoja procesnog pristupa naglasak je bio na proizvodnoj efikasnosti, dok je orijentacija prema krajnjem korisniku nedostajala. Važnost poboljšanja poslovnih strategija te

prilagođavanje tržišnoj okolini bilo je potpuno zanemareno, a drugačiji način rada smatrao se izvorom konkurentske prednosti na tržištu.

Druga faza razvoja trajala je do 1990-ih godina u kojoj je osnovni cilj bio smanjenje troškova uz povećanje prinosa. Faza je započela pojavom koncepta *lanac vrijednosti*, a dalje se nastavlja razvojem sličnih koncepata poput *vitke proizvodnje*, *šest sigma filozofije*, *reinženjeringa poslovnih procesa* te koncepta *potpunog upravljanja kvalitetom*.

Treća faza koja je započela sredinom 90ih za cilj je imala primjenu suvremene informacijske tehnologije i sustava u svrhu automatizacije i boljeg povezivanja poslovnih procesa. Tako su nastala dva nova koncepta sustavi za upravljanje poslovnim tijekovima te sustavi planiranja resursa poduzeća koji nude cjelovita potporna rješenja svim organizacijskim procesima.

Četvrta faza, aktualna faza, vratila je fokus na upravljanje poslovnim procesima potaknuta uočenim greškama i manjkavostima pristupima prethodnih faza razvoja.

4. LEAN SIX SIGMA METODOLOGIJA U PROIZVODNJI

Lean Six Sigma metodologija, kako je i istaknuto u nazivu, sastoji se od dva komplementarna koncepta Lean filozofije i Six Sigma pristupa poboljšanja procesa. Oba pristupa procesno su orijentirana te su se razvili otprilike u isto vrijeme, u drugoj fazi razvoja procesnog načina upravljanja kako je to navedeno u poglavlju 3.2.4.

Prva implementacija, kao i nastanak, Lean Six Sigma metodologije zabilježena je 1990. godine u kompaniji naziva General Electric. Za vrijeme implementiranja metodologije uočena je sličnost i kompatibilnost u njihovoj primjeni. Lean filozofija usmjerena je na unaprjeđenje procesnog toka (eng. *Process flow*), dok je Six Sigma pristup usredotočen na minimiziranje procesne varijacije (eng. *Process variation*). Sustavni okvir primjene ovih dviju metodologija definiran je DMAIC pristupom. Prednosti primjene Lean Six Sigma metodologije su brojne, ali mogu se sažeti u osnove težnje organizacijskog unaprjeđenja – smanjenje poslovnih troškova, smanjenje vremena procesnog takta i ciklusa, eliminiranje aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, minimiziranje procesnih varijacija itd. Također, mogućnost primjene ove metode u raznim industrijskim granama čini je veoma čestim izborom dugoročne strategije razvoja mnogih kompanija. [19]

Komplementarnost u primjeni Lean i Six Sigma filozofija po uzoru na studiju iz 2010. godine [20] prikazana je u Tablici 4. koja sačinjava presjek glavnih komponenti oba pristupa.

Tablica 4. Komplementarnost primjene Lean i Six Sigma filozofije [20]

Komplementarnost u primjeni Lean i Six Sigma filozofije	
Six Sigma	Lean
Definiranje strategije primjene metodologije kroz primjenu DMAIC pristupa	Definiranje metodologije poboljšanja - PDCA ciklus
Kvantificiranje zahtjeva krajnjeg korisnika	Usmjerenost k zahtjevima kupca
Otkrivanje i definiranje znanja	Razumijevanje početnog stanja
Mapiranje postojećih procesa	Dokumentiranje postojećeg procesnog toka
Uzročno-posljedična analiza	Procjena mogućih sposobnosti
Podatkovna dokumentacija procesa	Prikupljanje podataka o proizvodu
Osnovni alati za upravljanje kvalitetom i dizajniranje eksperimenata	Smanjenje vremena trajanja procesnog ciklusa, eliminacija mogućnosti otkaza opreme

Kako je vidljivo iz Tablice 4., veliki je broj dijeljenih karakteristika u primjeni ovih dviju filozofija. U oba pristupa stavljan je naglasak na primjeni velikog broja alata, a samim time i tehnika procesnog i organizacijskog poboljšanja. Six Sigma pristup naglašava važnost uzročno posljedične analize što je osnova u analizi procesnih nesukladnosti. Nadalje, Lean filozofija usmjerena je na pronalazak prilika za unaprjeđenje kroz analizu toka vrijednosti, odnosno kategorijsko klasificiranje aktivnosti na one koje stvaraju vrijednost u procesu i one koje to ne čine. Six Sigma identifikaciju mjesta za poboljšanje čini kroz mapiranje i analiziranje postojećih procesa. Sumarno, Lean filozofija unutar Lean Six Sigma metodologije često predstavlja izvor konkretnih alata za realizaciju poboljšanja, dok je Six Sigma strukturni okvir i analitička prethodnica poboljšanjima. [20]

Zbog navedenih komplementarnosti u primjeni pristupa mogu se istaknuti ciljevi ovih dviju filozofija [21] kako je to prikazano na Tablici 5.

Tablica 5. Ciljevi metodologija [21]

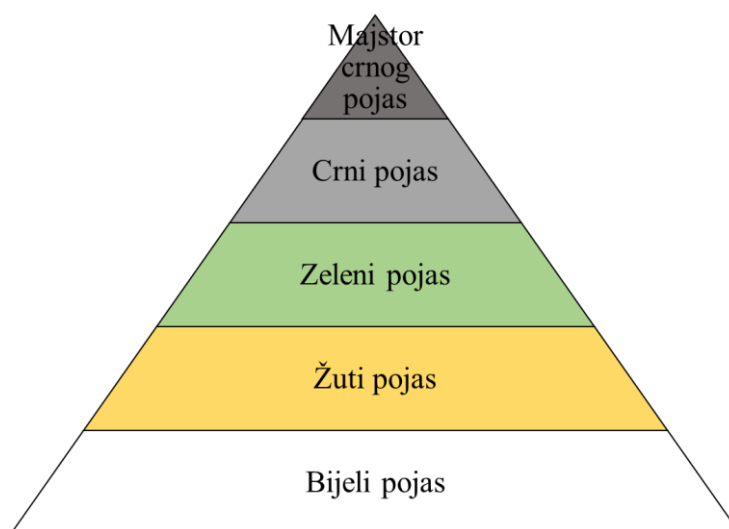
Ciljevi	Lean	Six Sigma	Lean Six Sigma
<i>Poboljšanje toka resursa</i>	x		
<i>Smanjenje varijacije</i>		x	
<i>Pronalazak najboljih operativnih uvjeta odvijanja procesa</i>		x	
<i>Povećanje robusnosti procesa</i>		x	
<i>Uklanjanje procesnih gubitaka</i>	x	x	x
<i>Smanjenje trajanja ciklusa</i>	x	x	x
<i>Eliminiranje aktivnosti koje ne dodaju vrijednost</i>	x	x	x

Za kvalitetnu implementaciju Lean Six Sigma metodologije unutar organizacije potrebno je osigurati prije svega punu podršku uprave, odnosno strateškog menadžmenta poduzeća. Također, potrebno je osigurati dostatne količine svih potrebnih resursa – ljudstvo, financije, vrijeme. [21]

4.1. Lean Six Sigma uloge u organizacijskoj strukturi

Kompanija Motorola u suradnji s poduzećima IBM, Xerox i Texas Instruments 1990. godine predlaže uvođenje strukture „pojaseva“, koja proizlazi iz istočnjačkih borilačkih vještina [22], kako bi se jasno definirale odgovornosti unutar projektnog tima, ali i organizacije [23].

Podjela se sukladno navedenom vrši na [24] – *Bijeli pojas*, *Žuti pojas*, *Zeleni pojas*, *Crni pojas*, *Majstor crni pojas*. Navedeno je prikazano na Slici 7.



Slika 7. Uloge u primjene Lean Six Sigma metodologije [24]

Bijeli pojas

Bijele pojaseve predstavljaju zaposlenici koji su upućeni u trenutne projekte koji se provode u poduzeću, no nisu pristupili nikakvoj dodatnoj obuci iz područja Lean Six Sigme. Također, važno je naglasiti da su zaposlenici svjesni da svojim radom doprinose u realizaciji projekta unaprjeđenja.

Žuti pojas

Žuti pojasevi služe kao podrška Zelenim i Crnim pojasevima prilikom realizacije projekta, ali to čine kao nadopuna svojim primarnim radnim zadacima. Također, zaposlenici ove uloge pristupili su osnovnoj obuci o metodologiji te kao takvi mogu izravno biti uključeni u projekte unaprjeđenja

Zeleni pojas

Zaposlenici Zelenog pojasa prošli su detaljnu i zahtjevnu obuku iz područja Lean Six Sigme, ali primarno se ne bave provedbom Lean Six Sigma projekata unaprjeđenja. Oni su dio organizacijske strukture unutar koje obavljaju svakodnevne zadatke unutar svoje nadležnosti. Prilikom rada na Lean Six Sigma projektima usko surađuju s Crnim pojasevima kojima su analitička podrška u svrhu ostvarenja organizacijskih ciljeva.

Crni pojas

Zaposlenici Crnog pojasa predstavljaju voditelje projektnih timova u provedbi Lean Six Sigma projekata, ali za razliku od dosad navedenih uloga Crni pojasevi se time bave puno radno vrijeme. Za sticanje zvanja Crnog pojasa potrebno je proći vrhunsku edukaciju te steći napredna analitička znanja, vještine projektnog upravljanja te razumijevanje o primjeni Lean Six Sigma alata. Svoje znanje dužni su prenositi na ostale pojaseve u svrhu jačanja kompetencija ostalih zaposlenika, ali i razvoja organizacijske kulture. Kao voditelj projektnog tima ima važnu ulogu u komuniciranju s strateškim menadžmentom gdje preuzima odgovornost za izvršavanje zadanih ciljeva.

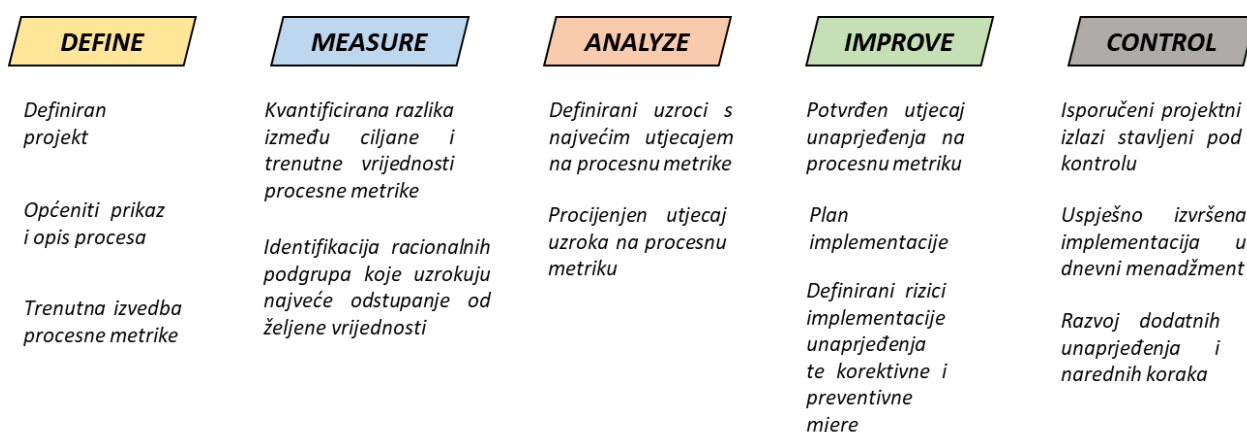
Majstorski crni pojas

Majstorski crni pojas, kao i uloga Crnog pojasa, zahtjeva puno radno opterećenje. Ova titula dodjeljuje se stručnjaku u primjeni Lean Six Sigma metodologije, obuhvaćajući time cijelu organizaciju, sa značajnim iskustvom primjene njenih principa. Najčešće nije uključen u rad projektnog tima, već izvršava ulogu savjetnika kako upravi tako i Crnih pojaseva. Također, sastavna uloga ovog pojasa je školovanje i razvijanje ostalih organizacijskih kadrova o primjeni metodologije.

4.2. DMAIC pristup

DMAIC pristup predstavlja strukturirani i sistematični okvir primjene Lean Six Sigma projekata unaprjeđenja. Cilj pristupa je identificirati pravi uzrok problema, a potom predložiti i provesti potrebna unaprjeđenja kako bi se problem otklonio. Naglasak ovog pristupa je na održivosti primijenjenih unaprjeđenja kako bi se organizacije, kao i njihov standard rada, kontinuirano unaprjeđivale. Kompanije često zbog svoje želje da brzo otklone probleme u svojim poslovnim procesima završe tretirajući njihove simptome, umjesto da otklanjaju korijenske uzroke problema. Stoga, važnu ulogu u DMAIC pristupu ima pojam dubokog znanja (eng. *Profound knowledge*) koji zahtjeva da doneseni zaključci o procesu budu temeljeni na procesnom i podatkovnom znanju te time sprječavaju prerano donošenje zaključaka o promatranom procesu.

DMAIC pristup dobio je naziv po početnim slovima engleskih naziva njegovih faza, a provodi se u 5 faza kako slijedi: *Define* (Definiranje), *Measure* (Mjerenje), *Analyze* (Analiza), *Improve* (Poboljšanje), *Control* (Kontrola). U primjeni ovog pristupa sistematičnost je ključna budući da svaka faza ovisi o prethodnoj. Nadalje, svaka faza ima definirane izlaze, kako je to prikazano na Slici 8., koje je potrebno isporučiti kako bi projekt mogao napredovati. Također, svaka od faza ima definirane alate iz metodologija Lean i Six Sigme kojima isporučuje tražene izlaze [25]. Više o alatima primjene dviju metodologija pisat će se u poglavljima 4.3. i 4.4.



Slika 8. Izlazi faza DMAIC pristupa

Faza Definiranja (eng. *Define*) početna je faza DMAIC ciklusa u kojoj je potrebno pravilno definirati problem kako bi cijeli projektni tim, zajedno s menadžmentom, imao isti način shvaćanja problema. Kao alat za dostatno definiranje problema nameće se Projektna povelja (eng. *Project Charter*) koja se sastoji od 8 ključnih dijelova – izjava problema, cilj projekta, opseg, ključni pokazatelji uspješnosti, vrijeme trajanja projekta, projektni tim, isporučeni materijali, iskoristive mogućnosti. Također, osim osnovnog definiranja problema potrebno je opisati promatrani proces pomoću SIPOC dijagrama koji predstavlja jednostavni prikaz procesa, počevši od dobavljača prema krajnjem korisniku tog procesa. Tema projektne povelje i SIPOC dijagrama, zbog opsega ovog rada, na praktičnom primjeru će se obraditi u poglavlju 5. Prilikom definiranja projekta potrebno je obratiti pažnju i na trenutnu izvedbu procesa koristeći već postojeće podatke, no zbog upitnosti njihove pouzdanosti treba provjeriti njihovu vjerodostojnost prije donošenja ikakvih zaključaka.

Mjerenje (eng. *Measure*) predstavlja drugu fazu DMAIC ciklusa, fazu koja je odgovorna za prikupljanje podataka i informacija o procesu. Cilj ove faze je identificirati procesni korak koji je najviše odgovoran za izlazni rezultat procesa te kvantificirati brojčano njegovo odstupanje od ciljane mjere, a time sužujemo opseg promatranog projekta. U tu svrhu najčešće se koriste alati statističke analize i mapiranja procesa.

Analiza (eng. *Analyze*) treća je faza ciklusa usmjerena na provođenje uzročno-posljedične analize kako bi se detektirali uzroci problema koji najviše utječu na promatrani proces. Također, procjenjuje se i njihovo djelovanje na procesnu metriku u slučaju ponovnog javljanja istog problema.

Faza Poboljšanja (eng. *Improve*) temelji se na predlaganju potencijalnih unaprjeđenja procesa, ali i njihovom testiranju prije stvarnog provođenja. Važnu ulogu u implementiranju unaprjeđenja predstavlja plan implementacije koji je detaljan dokument odgovoran za ispravno provođenje potencijalnih unaprjeđenja. Faza poboljšanja usko je povezana s fazom kontrole (eng. *Control*) budući da ona predstavlja sponu između potencijalnog unaprjeđenja i svakodnevne poslovne prakse koja će predstavljati novu osnovu za buduća unaprjeđenja.

4.3. Lean menadžment

Lean menadžment danas predstavlja najzastupljeniji vid menadžmenta u svijetu, odnosno najučinkovitiju strategiju poslovanja [26], a sam pojam usko je vezan uz Toyotin proizvodni sustav (eng. *Toyota Production System – TPS*). Sama filozofija nastala je analiziranjem Toyotinog poslovanja, kako je to objašnjeno u istraživanju J. P. Womacka, koje je kasnije prezentirano u knjizi *The Machine that changed the World* [26] gdje se prvi put spominje naziv Lean menadžment. U hrvatskom jeziku riječ Lean se prevodi kao vitak, stoga se uvriježio naziv Vitki menadžment. Pojam vitak, u ovom kontekstu, označava vještinu postizanja istoga s manje resursa (kapitala, vremena, rada, investicija), no pritom ne narušavajući kvalitetu proizvoda ili usluge.

Kako bi se bolje razumjela pozadina razvoja ovog, još uvijek modernog, načina upravljanja potrebno je osvrnuti se na povijesni razvoj proizvodnje u Americi, ali i Japanu. Dok je američka industrija bila na tadašnjem vrhuncu svoje ekspanzije, revolucionarizirana od strane Henryja Forda i pokretne proizvodne linije, za to vrijeme u Japanu, nakon Drugog svjetskog rata, vladala je poslijeratna kriza te nije bilo novca za ulaganja u modernije tehnologije proizvodnje.

Japanska industrija, konkretno vodstvo kompanije Toyota, tražilo je načine za opstanak poduzeća. U datom trenutku vremena kompanija Toyota je angažirana od strane Amerikanca da za njih proizvodi vojna vozila, zbog čega se otvara prilika da vodstvo Toyote ode na izučavanje Fordovih principa proizvodnje u Ameriku. Znajući da ne raspolažu s istim kapitalom kao Amerikanci, od početka je bilo jasno kako će Fordove principe proizvodnje morati primijeniti na drugačiji način, sa manje svega. Tako je po njihovu povratku iz Amerike započela transformacija poslovanja kompanije Toyota koja je trajala više od dva desetljeća, a danas je poznata pod nazivom Toyotin proizvodni sustav. [27]

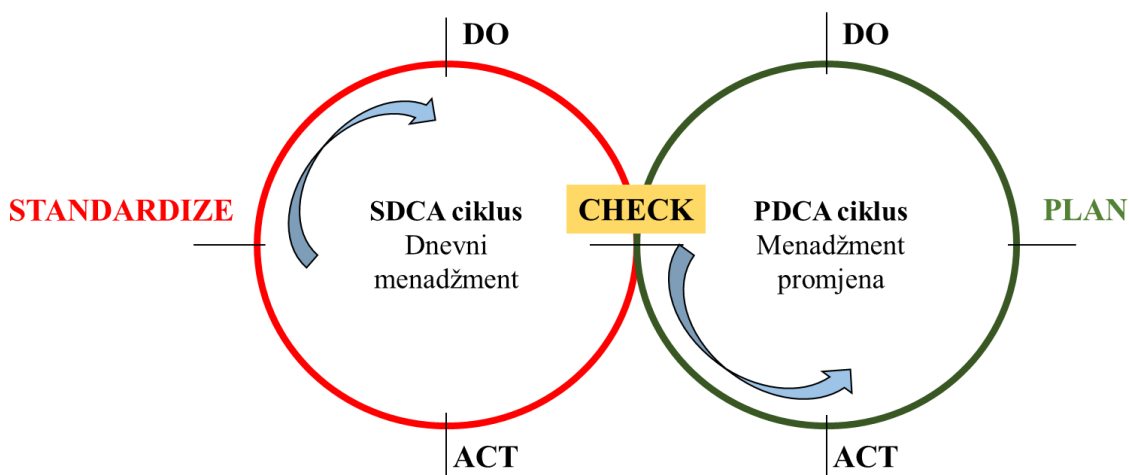
U osnovi Lean menadžmenta nalaze se dva pojma, standardizacija rada i kontinuirano unaprjeđenje, koji zajedno stvaraju potencijal za organizacijski rast i razvoj poslovanja. Navedeni pojmovi praktično su implementirani kroz dva kružna operativna ciklusa koji rade u sprezi – SDCA i PDCA. Ovaj drugi poznatiji je, a također se naziva i Demingov ciklus te predstavlja osnovu za kontinuirano unaprjeđenje.

PDCA ciklus provodi se u četiri faze Planiraj-Učini-Provjeri-Djeluj (eng. *Plan-Do-Check-Act*), od kojih najvažnije faze predstavljaju upravo Provjeri (eng. *Check*) i Djeluj (eng. *Act*) jer obuhvaćaju osvrst na trenutno stanje poslovnog procesa, ali i u slučaju odstupanja od standardne prakse pozivaju na djelovanje [25].

Prva faza PDCA ciklusa, Planiranje, označava promjenu kojim se ostvaruje poboljšanje. Poznato je kako poboljšanje uvijek počinje idejom, a nastavlja se fizičkim eksperimentom u procesu. Nastavno, druga faza PDCA ciklusa – Učini, označava izvedbu planiranog eksperimenta. U fazi Provjeri cilj je evaluirati rezultate eksperimenta i usporediti ih s postavljenim standardom, nakon čega se dolazi do faze Djeluj u kojoj djelujemo sukladno dobivenim rezultatima. U ovom trenutku odlučuje se o potrebnim promjenama, bilo da se radi o provedbi drugačijeg plana unaprjeđenja, ažuriranju standardne prakse ili odbacivanju unaprjeđenja [28]. Važno je naglasiti da u slučaju odstupanja u izvedbi procesa potrebno je postaviti si tri pitanja – Je li do toga došlo zato što standardna praksa nije definirana?, Je li standardna praksa poštovana?, Je li standardna praksa adekvatno definirana?.

Upravo odgovori na ova pitanja u Provjeri koraku PDCA kruga aktiviraju već spomenuti SDCA krug bez kojeg unaprjeđenje nije moguće, budući da je osnova svakog unaprjeđenja znana standardna praksa [25, 29].

SDCA ciklus se također provodi u četiri faze – Standardiziraj-Učini-Provjeri-Djeluj (*eng. Standardize-Do-Check-Act*). Svrha primjene ovog ciklusa je na svakodnevnoj razini evaluirati standardnu praksu rada pojedinog procesa. Prvi korak je standardizirati proces (Standardiziraj), zatim se definirani standard implementira u svojim procesima (Učini) te se evaluira uspješnost provođenja standarda (Provjeri). Ukoliko se evaluacijom ustanovi kako provođenje procesa i njegovi izlazi odstupaju od standarda aktivira se PDCA ciklus unaprjeđenja kojim će se probati unaprijediti proces te naknadno poboljšati i sama standardna praksa rada. Ova dva ciklusa, SDCA i PDCA, zajedno predstavljaju sustav kontinuiranog unaprjeđenja.



Slika 9. Shematski prikaz SDCA i PDCA ciklusa – prilagođeno iz [25]

4.3.1. Lean principi

Svaka metodologija, tako i Lean filozofija, ima svoje temeljne principe primjene. Lean filozofija se često promatra samo kroz prizmu primjene njezinih alata, no da bi se stvarno razumjela metodologija potrebno je pažnju obratiti na njene bazične principe koji služe kao vodilja prilikom primjene metodologije u poduzećima [30]

U osnovne principe Lean menadžmenta spadaju [31] – *Definicija vrijednosti*, *Tok vrijednosti*, *Protočnost*, *Povlačenje*, *Težnja ka izvrsnosti*, a shematski su prikazani na Slici 10. koja predstavlja neprestani proces njihove primjene.



Slika 10. Principi Lean menadžmenta – prilagođeno iz [30]

Prvi i osnovni princip metodologije je definicija vrijednosti. U procesno orijentiranim organizacijama, a pretežito u Lean metodologiji kupac je taj koji definira pojam vrijednosti koji je reprezentiran u proizvodima ili uslugama. Nastavno, tok vrijednosti je usko povezan s definicijom vrijednosti. Potrebno je razumjeti način stvaranja vrijednosti unutar organizacije, stoga se tok definira kao slijed aktivnosti koji su potrebne da bi se određeni proizvod isporučio korisniku. Tok vrijednosti sastoji se od toka materijala, informacija i razvoja. Također, znamo da svaki tok vrijednosti započinje s narudžbom, a završava s isporukom proizvoda kupcu [31]. Protočnost, kao sljedeći princip, je mjera efikasnosti toka vrijednosti budući da težimo ostvariti protok koji je kontinuiran, odnosno bez nepotrebnog čekanja i s što manjim vremenom trajanja. Kada govorimo o principu povlačenja, što predstavlja četvrti princip Lean metodologije,

usmjereni smo da unutar našeg procesa prethodna operacija proizvodi točno ono što sljedeća od nje zahtjeva, dok kompletan proces povlačenja započinje zahtjevom kupca. Posljednji princip naziva se težnja ka izvrsnosti, odnosno kontinuiranom unaprjeđenju svih procesa unutar organizacije, a kao takav ima ključnu ulogu u kružnoj primjeni osnovnih načela Lean menadžmenta. Izvrsnost ovakve primjene je nešto čemu bi svaka organizacija trebala težiti kako bi se uspjela prilagoditi iznimno zahtjevnim promjenama tržišta, ali i zadovoljiti potrebe korisnika.

4.3.2. Lean alati u procesnoj industriji

Uz osnovne principe, za uspješnu implementaciju potrebno je primijeniti i konkretne alate Lean metodologije. Konkretnih alata ima puno, stoga ćemo se u ovom radu fokusirati na alate karakteristične za primjenu u procesnoj industriji poput – *5S*, *Mapiranje procesa – dijagram toka*, *Standardizacija rada* i *SMED*.

4.3.2.1. 5S

5S predstavlja osnovni alat u Lean Six Sigma metodologiji budući da svojom primjenom osigurava dobre preduvjete za upotrebu mnogih drugih alata iz metodologije. Radi se o alatu koji je usmjeren na uvođenje reda i čistoće na mjesta gdje se provode organizacijski procesi – ured, proizvodna stanica, skladište materijala itd. Takva okolina, posljedično, povećava i sigurnost radnih mjesta što je u današnje vrijeme izuzetno važan faktor.

Primjena 5S alata omogućava da zaposlenik ne troši svoje raspoloživo vrijeme na pronalazak alata potrebnih na rad, već mu omogućava da se fokusira na pravilno izvršavanje zadataka. Poznato je da četvrtina svih nesukladnost, bilo procesnih ili proizvodnih, proizlazi iz nedovoljno uređene i prljave radne okoline [32].

Kako i samo ime nalaže, alat se provodi u 5 koraka – Sortiranje (jap. *Seiri*, eng. *Sort*), Uvođenje reda (jap. *Seiton*, eng. *Set In Order*), Čišćenje (jap. *Seiso*, eng. *Shine*), Standardizacija (jap. *Seiketsu*, eng. *Standardize*), Samodisciplina (jap. *Shitsuke*, eng. *Sustain*).

Primjena alata započinje sortiranjem koje ima za zadatak identificirati sve potrebne materijale i alate potrebne za izvršavanje određene aktivnosti unutar određenog radnog mjesta, ali i ukloniti one nepotrebne za njeno izvršavanje. Predmete koje ne koristimo u izvršavanju definirane aktivnosti potrebno je adekvatno smjestiti tamo gdje su potrebni. Izvršavanjem prvog

koraka uz svako radno mjesto vezali smo samo alate i materijale koji se koriste prilikom upotrebe tog radnog mjesta.

Nakon sortiranja, sljedeći korak je uvesti red na sada već sortirane radne stanice. Prilikom uvođenja reda u radne stanice promišlja se na način da alati koji se koriste često smjestimo blizu mjesta njihovog korištenja. Također, alate koje koristimo u paru s drugim alatima smještamo zajedno na isto mjesto. Alat je potrebno etiketirati kako bi se omogućilo lakše vraćanje alata na za to predviđeno mjesto. Nadalje, poželjno je razmišljati o ergonomiji, stoga često korišteni alat postavljamo na lako dostupna mjesta.

Treći korak u primjeni 5S alata je čišćenje koji govori o važnosti održavanja radne okoline čiste i uredne čime održavamo produktivnost rada. Proces čišćenja se provodi na dnevnoj bazi upravo kako ne bi došlo do narušavanja već spomenute produktivnosti.

Kada govorimo o standardizaciji rada unutar primjene 5S alata pretežito mislimo na pisanu dokumentaciju, ali i vizualni prikaz kojim pojašnjavamo raspored alata i predmeta korištenih na tom radnom mjestu kako bi zaposlenicima omogućili jednostavnu replikaciju definiranog standarda. Nastavno na standardizaciju nadovezuje se posljednji korak u primjeni 5S alata, a to je samodisciplina koja se smatra i najzahtjevnijim korakom. Kako bi primjena ovog alata imala smisla i ostvarila primjetnu promjenu u radnoj okolini potrebno je iz dana u dan zadržati istu razinu reda i čistoće radnih stanica.



Slika 11. 5S alat – koraci [33]

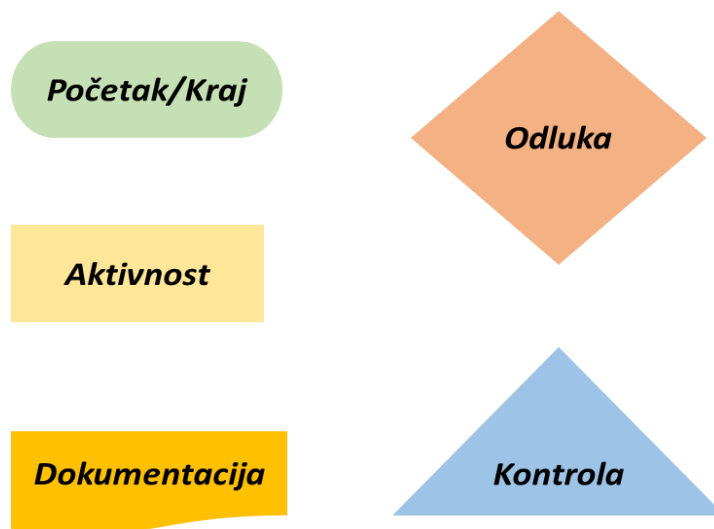
4.3.2.2. Mapiranje procesa – dijagram toka

Mapiranje procesa alat je kojim vizualiziramo tok vrijednosti cijelog procesa ili nekih njegovih dijelova koristeći standardizirane simbole i dostupne informacije o procesu. Kada govorimo o proizvodnji, vrijednost je predstavljena u obliku proizvedenog proizvoda, stoga je tok vrijednosti skup svih trenutnih aktivnosti koje se odvijaju u procesu bilo da se radi o aktivnostima koje stvaraju vrijednost ili koje čine gubitak.

Osnovni cilj mapiranja procesa je analizirati tok (eng. *Flow*) proizvodnog procesa kako bi se detektirali gubici u postojećim procesima te identificirale prilike za unaprjeđenja.

Postoji puno različitih načina na koje možemo mapirati procese, no među poznatijima je Dijagram toka (eng. *Deployment diagram*) koji osim vremenskog toka procesa, omogućava i pregled aktivnosti po funkcijama koje su uključene u proces.

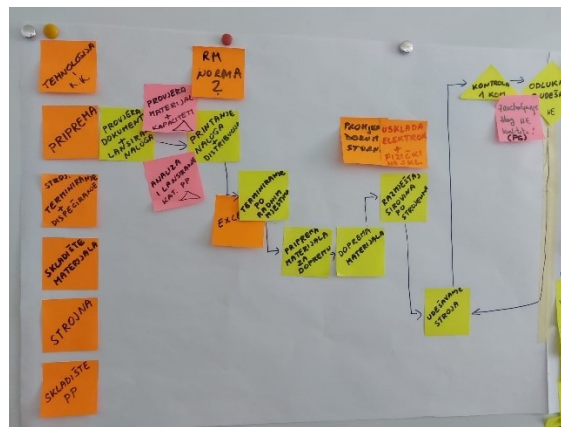
Prilikom izrade dijagrama koristimo standardizirane osnovne simbole za mapiranje procesa koji su prikazani na Slici 12. Osnovni simboli definiraju – Početak/Kraj, Aktivnost, Kontrola, Odluka i Dokumentacija.



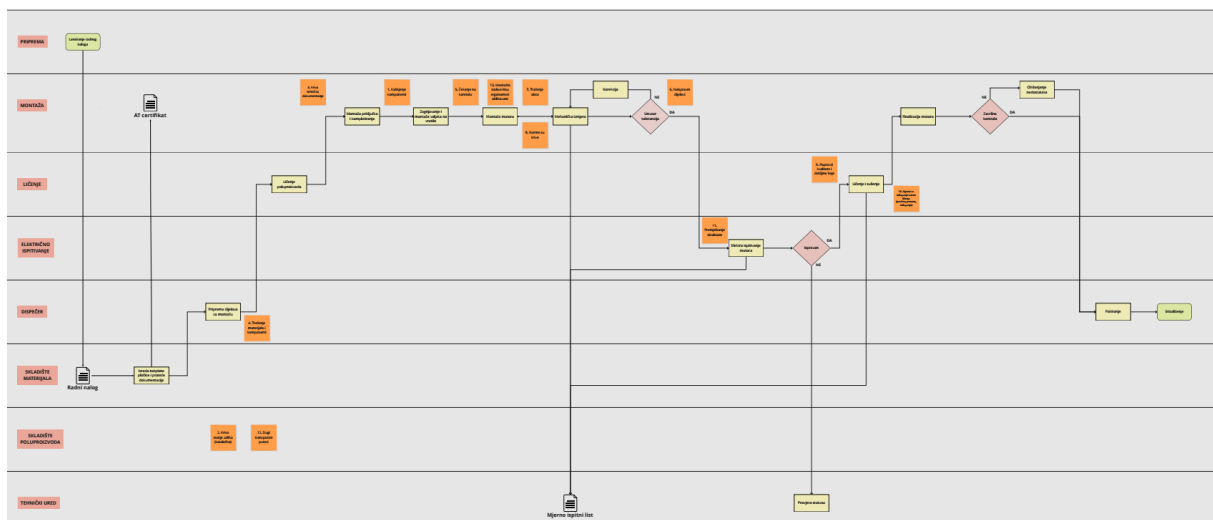
Slika 12. Simboli dijagrama toka

Koristeći prikazane simbole opisuje se odabrani poslovni proces dodjeljujući svakoj aktivnosti unutar procesa prvo simbol, a zatim i funkciju odgovornu za njeno izvršavanje.

U primjeni ovog postupka sporna je razina detalja koju je potrebno prikazati na dijagramu toka pa se kao nepisano pravilo uzima ona količina detalja koja je dovoljna da bi osobi koja prvi put promatra proces mogla jasno razumjeti o kakvom se procesu radi. Također, važno je napomenuti da prilikom izrade dijagrama toka svi zaposlenici uključeni u proces sudjeluju u njegovoj izradi, koja nerijetko može biti vrlo izazovna zbog različitog shvaćanja pojedinih dijelova procesa. Kako bi se cijeli proces olakšao, on se prvo radi na papiru koristeći samoljepljive papiriće (eng. *Post-it*), kako je to prikazano na Slici 13. koji doprinose efikasnosti izrade same mape. Nakon što su se svi sudionici usuglasili oko izgleda dijagrama toka, potiče se njegova digitalizacija. Izgled digitaliziranog dijagrama toka prikazan je na Slici 14.



Slika 13. Dijagram toka – radna verzija



Slika 14. Dijagram toka – digitalizirana verzija

4.3.2.3. Standardizacija rada

Taiichi Ohno je rekao, jedan od pionira primjene TPS-a, “bez standarda, ne može biti niti unaprjeđenja”, stoga se kao jedan od temeljnih alata metodologije također ističe i standardizacija rada. Slično kao i u četvrtom koraku 5S alata, standardizacija rada se provodi pisanom i vizualnom dokumentacijom koja se prezentira zaposlenicima, no u ovom slučaju fokusirana je na upute za izvršavanje određenog procesa. Upute za rad se postavljaju na vidljiva i lako dostupna mjesta blizu stvarne lokacije izvođenja procesa.

Srž ovog alata čine ljudski pokreti, a njihovom optimizacijom postizemo efikasniji način provođenja određenog procesnog koraka ili cjelokupnog procesa. Konkretno, proces se sistematizira u skup individualnih aktivnosti unutar kojih smo eliminirali aktivnosti koje nisu stvarale vrijednost za kupca. Uvođenjem standardizacije osigurava se manja varijacija u izvođenju procesa, povećava se vidljivost bilokakvih odstupanja, povećava se radna disciplina te se stvaraju održivi uvjeti za provođenje unaprjeđenja, ali i raste sigurnost radne okoline.

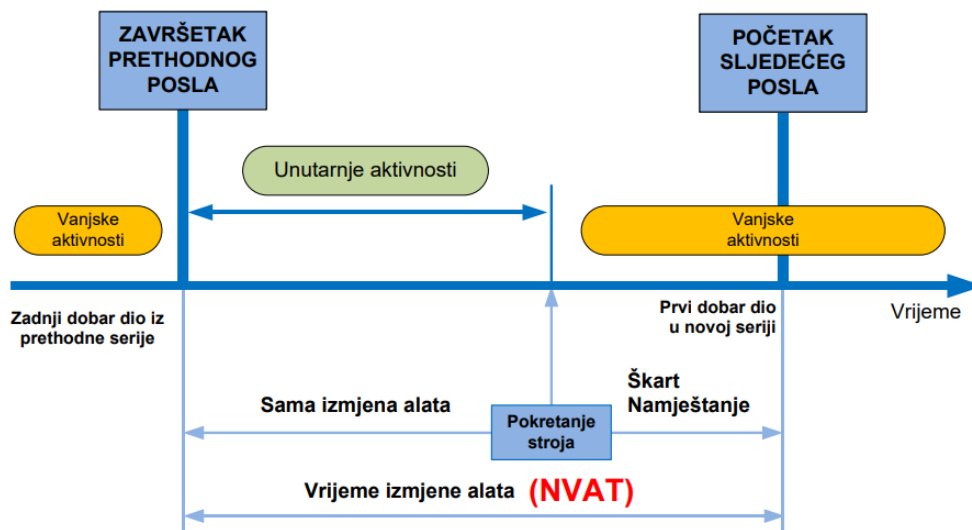
Preduvjet za implementaciju standardnog rada unutar organizacije je određena količina procesa koji su ponovljivi budući da ne možemo govoriti o standardizaciji rada u ne predvidljivoj i ne kontroliranoj okolini.

4.3.2.4. SMED

SMED (eng. *Single Minute Exchange of Die*) je alat koji je razvio S. Shingo, japanski industrijski inženjer, dok je u Toyoti pokušavao smanjiti vrijeme izmjene alata za prešanje. Budući da je ostvario značajan uspjeh smanjivši vrijeme s nekoliko sati (nekada i više od pola smjene) na svega nekoliko minuta alat je poprimio naziv kakav danas poznajemo.

Iako sam naziv kaže da se izmjena alata treba desiti unutar jedne minute, u širem kontekstu označava da se izmjena alata izvodi unutar jednoznamenkastih vrijednosti vremena, odnosno do 10 minuta. Smanjenjem vremena potrebnog za izmjenu alata dobiva se na proizvodnoj fleksibilnosti, što nam omogućava da u relativno kratkom vremenu planiramo proizvodnju širokog asortimana proizvoda [34].

Za bolje razumijevanje samog alata potrebno je definirati osnovne pojmove obuhvaćene njegovom primjenom, tako se vrijeme izmjene alata (eng. *Changeover time*) definira kao vrijeme potrebno da se pripremi stroj, a mjeri se kao razlika vremena između zadnjeg dobro proizvedenog proizvoda iz prethodne serije i prvog dobrog proizvoda iz nove serije [35].



Slika 15. SMED shematski prikaz [30]

Također, Shingo je kategorizirao procesne aktivnosti prilikom izmjene alata, na unutarnje i vanjske. Unutarnje aktivnosti predstavljaju one aktivnosti koje je moguće izvesti isključivo dok stroj ne radi, za razliku od vanjskih aktivnosti koje se mogu izvršiti dok stroj još uvijek radi [36].

Cilj SMED alata je identificirati što je više moguće unutarnjih aktivnosti, budući da stroj nije u uporabi za vrijeme njihovog izvođenja, koje će se optimiziranjem procesa izmjene alata pretvoriti u vanjske aktivnosti.

Smanjenje vremena izmjene alata provodi se u nekoliko osnovnih koraka [30]:

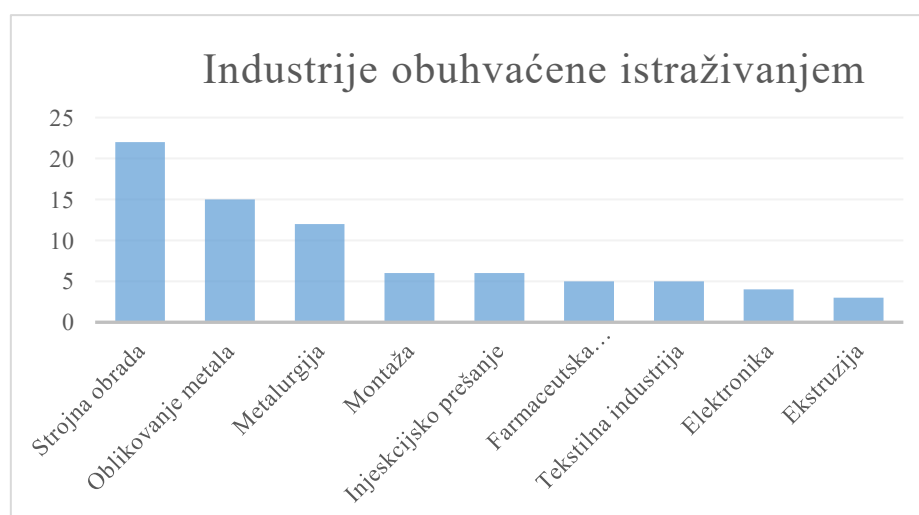
1. Prikupljanje podataka o trenutnoj izvedbi procesa – preporučuje se snimanje s kamerom kako bi se proces mogao naknadno analizirati
2. Potrebno je ustanoviti sve aktivnosti koje su obuhvaćene procesom izmjene alata, a potom ih je potrebno identificirati kao unutarnje ili vanjske.
3. Treba težiti da se sve unutarnje aktivnosti pretvore u vanjske kada je god to moguće
4. Preostale unutarnje aktivnosti, koje nije moguće pretvoriti u vanjske, potrebno je skratiti budući da se time smanjuje vrijeme koje stroj ne radi.
5. Zadnji korak je skratiti vrijeme trajanja vanjskih aktivnosti kako bi ukupno vrijeme izmjene alata bilo što kraće

4.3.2.5. Presjek primjene SMED alata

SMED alat primjenjiv je u raznim industrijama i različitim vrstama procesa, stoga način njegove primjene može varirati ovisno o industriji u kojoj ga se primjenjuje. U veljači 2019. godine objavljena je studija [37] u časopisu *The International Journal of Advance Manufacturing Technology* koja je obuhvatila 130 znanstvenih članaka na temu SMED alata u razdoblju od 1995. do 2018. godine pokrivajući tako sve industrije njegove primjene.

U narednim odlomcima prezentirat će se neki od zaključaka studije [37] i različitosti u primjeni alata u različitim industrijama.

Uvodno je potrebno naglasiti kako se primjena SMED alata analizirala na primjerima iz diskretne, kontinuirane i univerzalne proizvodnje o čijim je razlikama više govoreno u poglavlju 2. Na Slici 16. prikazane su industrije po učestalosti njihovog pojavljivanja u analizi ove studije.

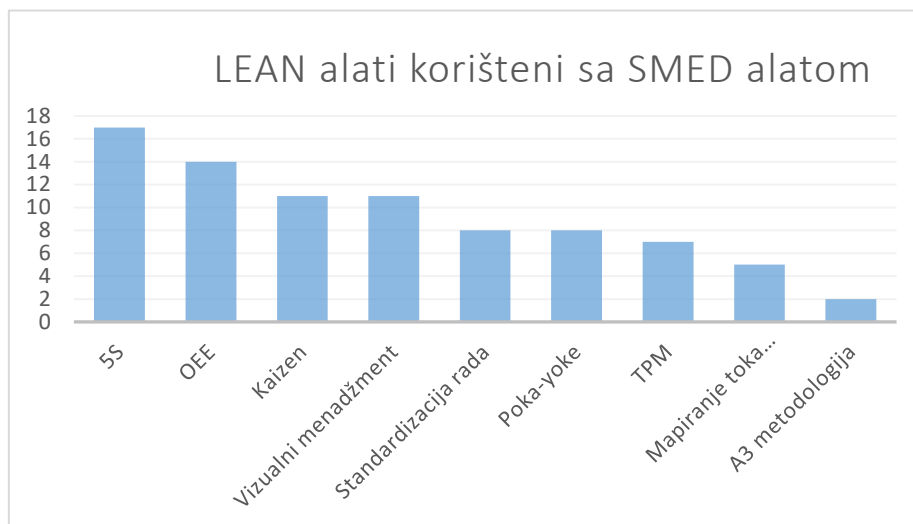


Slika 16. Presjek industrija koje su sudjelovale u studiji – prilagođeno iz [37]

Također, identificirano je ukupno 45 različitih alata koji su kombinaciji sa SMED alatom korišteni u svrhu smanjenja vremena podešavanja stroja, a grupirani su četiri kategorije:

1. Alati za procjenu – koriste se da bi se evaluirali organizacijske procese
2. Alati za unaprjeđenje – korišteni kako bi se proces unaprijedio
3. Alati za nadziranje – korišteni za mjerenje i praćenje procesne metrike
4. Sveobuhvatni alati – korišteni kao alati za procjenu, unaprjeđenje i nadziranje

Budući da je SMED također jedan od Lean alata, najčešće je primjenjivan upravo u kombinaciji s ostalim Lean alatima kako je to prikazano na Slici 17. Međutim često je spominjan i DMAIC pristup unaprjeđenja kao sveobuhvatni alat, odnosno strukturirani okvir unutar primjene SMED alata.



Slika 17. Prikaz Lean alata korištenih u kombinaciji sa SMED alatom – prilagođeno iz [37]

Metrika uspješnosti primjene SMED alata strukturirana je u četiri kategorije:

1. Troškovi – povećanje produktivnosti
2. Vrijeme – ključ učinkovitog rada
3. Kvaliteta – važna metrika kada govorimo o kontinuiranom unaprjeđenju
4. Vrijednost – definirana kao spremnost kupca da plati za to

Metrika povećanja produktivnosti spomenuta je 65 puta kao rezultat uspješne primjene SMED alata, dok je u 26 puta spomenuta metrika vremena koja je definirana kao proces izmjene alata u trajanju manje od 10 minuta (eng. *Single digit*). Metrika vrijednosti ustanovljena je 11 puta kao izlaz primjene SMED alata te je manifestirana kao povećanje procesne fleksibilnosti.

Kontinuirana proizvodnja

Kontinuirana proizvodnja bila je predmet promatranja primjene SMED alata u 39 različitih studija. Kao glavni zaključak ističe se da primjena SMED alata još uvijek nije dovoljno opisana i istražena u kontinuiranoj, odnosno procesnoj industriji, no usprkos tome neka opažanja jesu zabilježena.

U prehrambenoj industriji predloženo je uvođenje metrike uspješnosti izmjene alata kao prosječno vrijeme između pojavljivanja kvarova te prosječno vrijeme potrebno da se isti otklone, što je rezultiralo smanjenjem vremena podešavanja stroja od 95% [38].

U farmaceutskoj industriji korišten je DMAIC pristup u kombinaciji sa SMED alatom s čime je postignuta redukcija vremena podešavanja stroja od 20% koristeći korake koje je definirao Shingo [39]. Također, na liniji pakiranja u farmaceutskoj industriji uočena je primjena SMED alata s ostalim Lean alatima – 5S, Poka-yoke, Spaghetti dijagram, što je dovelo do povećanja sveukupne učinkovitosti opreme (OEE) za 44% te istovremeno smanjujući vrijeme podešavanja za 61,5% [40].

U procesu ekstruzije stiropora za pakiranje hladnjaka [41], primjenom standardnog rada, sigurnosti i ergonomije radnog mjesta je smanjeno vrijeme podešavanja stroja za otprilike 50%. Nastavno, kod ekstruzije polivinil klorida (PVC) [42] AHP metoda odlučivanja kao tehnika višekriterijskog odlučivanja korištena je unutar primjene SMED u svrhu transformiranja unutarnjih aktivnosti u izvanjske, što je rezultiralo unaprjeđenjem fleksibilnosti i vremena podešavanja za 74%.

Na montažnoj liniji proizvodnje baterija nakon što povećana produktivnost uskog grla vrijeme podešavanja stroja povećalo se za 54% [43]. U drugom slučaju uz primjenu Pareto principa, statističke kontrole i DMAIC pristupa postignuto je vrijeme izmjene alata od čak 9 sekundi [44].

Prosječno vrijeme podešavanja u tekstilnoj proizvodnji bilo je smanjeno za 26% kada je uz SMED alat primijenjen i 5S metoda [45], dok je u industriji proizvodnje kondenzatora kombinacijom kaizena i vizualnog menadžmenta rezultiralo smanjenjem vremena podešavanja od 52% [46].

4.4. Six Sigma metodologija

Six Sigma metodologija se temelji na sustavnom eliminiranju varijacije iz poslovnih procesa primjenom statističkih alata, bilo da se promatra način izvođenja procesa ili kvaliteta proizvedenog proizvoda. Stoga, odstupanje ili standardna devijacija predstavlja osnovni pojam metodologije. U praksi, promatra se odstupanje procesa ili proizvodne karakteristike od srednje vrijednosti statističke distribucije (normalne razdiobe) [47].

Six Sigma predstavlja sustav za upravljanje kvalitetom čije su osnovni koraci primjene kako slijedi [48]:

1. Razumijevanje zahtjeva kupca
2. Udovoljavanje zahtjevima kupca kroz postizanje šest sigma razine kvalitete
3. Minimizacija varijacije ključnih procesa koristeći kvalitetnu analitiku
4. Osiguravajući primjenu brzih i kontinuiranih poboljšanja
- 5.

Provođenje ove metodologije, isto kao i kod Lean filozofije, može biti vrlo izazovno pa postoje preduvjeti koji pospješuju postizanje vrhunskih rezultata u primjeni Six Sigma metode. Od ključne važnosti su podrška vrhovnog menadžmenta, edukacija zaposlenika, uporaba statističkih alata, ali i sustav nagrađivanja radnika [49].

Six Sigma metodologija, prema učenju, ima 6 razina kvalitete kojima vrednuje procese ili proizvode. Razine kvalitete predstavljaju udio defektnih proizvoda na proizvedenih milijun proizvoda (eng. *Defects per Million Opportunities – DPMO*), odnosno broj grešaka na milijun prilika. Da bi uopće govorili o zadovoljavajućoj razini kvalitete proces mora imati razinu kvalitete 3 Sigma, što znači da na milijun prilika ostvaruje 66 807 grešaka ili da je njegov ishod odgovarajući u 93,32% slučajeva, a svaka organizacija treba težiti postići razinu kvalitete 6 Sigma što bi značilo da milijun prilika rezultira u samo 3,4 greške. U Tablici 5. su prikazane vrijednosti za svih šest razina kvalitete.

Tablica 6. Razine kvalitete u Six Sigma metodologiji [48]

Sigma razina kvalitete	DPMO	Sukladnost (%)
Šest Sigma (6 σ)	3,4	99,99966
Pet Sigma (5 σ)	233	99,977
Četiri Sigma (4 σ)	6 210	99,38
Tri Sigma (3 σ)	66 807	93,32
Dva Sigma (2 σ)	308 537	69,15
Jedan Sigma (1 σ)	690 000	30,85

Važno je naglasiti da pojam greške (eng. *Defect*) definira kupac, odnosno korisnik, postavljajući specifikacijske granice procesa ili proizvoda. U praktičnom smislu to bi bila fizička ograničenja

kada govorimo o proizvodu, odnosno dnevna količina proizvodnje ili duljinu vodećeg vremena (eng. Lead time) kada govorimo o procesima.

4.4.1. Sposobnost procesa

Nastavno na Sigma razine kvalitete, odnosno pojam sukladnosti, razvila se metrika kojom se lakše prati sposobnost procesa. Riječ je o indeksu sposobnosti procesa (C_p) koji dovodi u korelaciju granice specifikacije, koje je za neki proizvod ili proces, definirao kupac sa standardnom devijacijom istoga. Tako je temeljni uvjet sposobnosti procesa da raspon procesa bude manji ili jedan rasponu specifikacija. Raspon procesa podrazumijeva područje unutar ± 3 standardna odstupanja [50].

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}; \quad T = USL - LSL$$

Slika 18. Formula za izračun sposobnosti procesa

gdje je:

T – raspon specifikacija

USL – gornja granica specifikacije

LSL – donja granica specifikacije

Ocjena sposobnosti procesa odgovara na pitanje treba li poboljšati proces. Ako je odgovor potvrđan, postavlja se pitanje za koliko ga treba poboljšati. Drugim riječima, ova se analiza svodi na razmatranje uzroka varijabilnosti procesa, budući da se u svakom procesu pojavljuje određeni stupanj varijabilnosti iz slučajnih ili posebnih uzroka. Ocjenom sposobnosti procesa mjeri se učinkovitost i efikasnost procesa u slučaju nepostojanja posebnih uzroka varijacija, dakle u slučaju kada je proces u stanju statističke kontrole.

Tablica 7. Odnos sposobnosti procesa i razine kvalitete [50]

Sigma razina kvalitete	Indeks sposobnosti procesa - C_p	Sposobnost procesa
Šest Sigma (6σ)	$C_p = 2$	Proces može biti sposoban
Pet Sigma (5σ)	$C_p = 1,67$	
Četiri Sigma (4σ)	$C_p = 1,33$	Sposobnost procesa je upitna
Tri Sigma (3σ)	$C_p = 1$	
Dva Sigma (2σ)	-	Proces ne može biti sposoban
Jedan Sigma (1σ)	-	

Iz Tablice 7. je vidljivo da procesi kod kojih je indeks sposobnosti procesa manji od jedan, odnosno kod kojih je raspon procesa veći od raspona specifikacija, nisu sposobni niti nemaju potencijal da to postanu ukoliko se prije toga ne optimiziraju. S druge strane, procesi čiji je indeks sposobnosti procesa veći od 1,33 smatraju se sposobnim procesima.

5. KLJUČNI POKAZATELJI USPJEŠNOSTI

S brzim širenjem opsega i povećanjem raznolikih tržišnih poticaja u modernoj proizvodnoj industriji, proizvodna poduzeća moraju održavati dovoljnu fleksibilnost, visokokvalitetne standarde, produktivnost i održivost kako bi se izborili s novim izazovima i postigli svoj potpuni ekonomski potencijal. Stoga proizvodne industrije danas implementiraju sustave mjerenja performansi za procjenu operativnog stanja svojih proizvodnih aktivnosti [51, 52]. Kako bi se kvantificirala učinkovitost i djelotvornost upravljanja proizvodnim operacijama, definiran je skup detaljnih pokazatelja za realizaciju strateških ciljeva upravljanja i poboljšanja procesa, koji se nazivaju ključni pokazatelji uspješnosti - KPI [53, 54].

Ključni pokazatelji uspješnosti se definiraju kao mjerljiva i strateška mjerenja koja odražavaju ključne čimbenike uspjeha poduzeća [55]. Suvremeni alati informacijske tehnologije pružaju mogućnosti prikupljanja velikog skupa potrebnih podataka i procjena, podržavajući stjecanje i izračun ključnih pokazatelja uspješnosti, zbog čega im se posljednjih godina pridaje više pozornosti i u akademskoj zajednici i u industriji.

Neki od osnovnih pokazatelja uspješnosti su vodeće vrijeme, takt kupca, prinos prvog prolaza (FTY) i ukupna učinkovitost opreme (OEE). Također, ISO 22400 standard je definirao model po kojem su određeni pokazatelji uspješnosti karakteristični za procesnu industriju [56], a bit će objašnjeni u poglavlju 5.4.

5.1. Vodeće vrijeme

Vodeće vrijeme jedan je od važnijih pokazatelja uspješnosti jer predstavlja vrijeme iz perspektive kupca, a definirano je kao razlika vremena od trenutka narudžbe do trenutka isporuke proizvoda kupcu. Unutar sebe vodeće vrijeme obuhvaća sve aktivnosti koje se nalaze u definiranom vremenskom okviru, one koje dodaju vrijednost našem procesu, ali i one koje ne dodaju.

5.2. OEE

OEE (eng. *Overall Equipment Effectiveness*) je složen pokazatelj uspješnosti, ali predstavlja zlatni standard za mjerenje proizvodne produktivnosti. U situaciji kada je OEE na 100% to znači da se proizvode proizvodi zadovoljavajuće kvalitete pri punoj brzini unutar raspoloživog radnog vremena. Konkretna formula za računanje prikazana je kako slijedi. Komponenta raspoloživosti (A) usmjerena je na otkrivanje zastoja i kvarova u proizvodnom procesu.

Produktivnost (B) ukazuje na postotak iskorištenog potencijala opreme, dok komponenta kvalitete (Q) ukazuje na broj nesukladnih proizvoda. Zajedno sve tri komponente predstavljaju moćan za praćenje razine izvedbe u proizvodnji.

$$OEE = A * P * Q \text{ [%]}$$

A – raspoloživost, P – produktivnost, Q – kvaliteta

$$A = \frac{\text{vrijeme proizvodnje}}{\text{raspoloživo vrijeme}}$$

$$P = \frac{\text{brzina rada stroja}}{\text{maksimalna moguća brzina rada stroja}}$$

$$Q = \frac{\text{broj ispravnih proizvoda}}{\text{broj proizvedenih proizvoda}}$$

Slika 19. Formula za izračun OEE

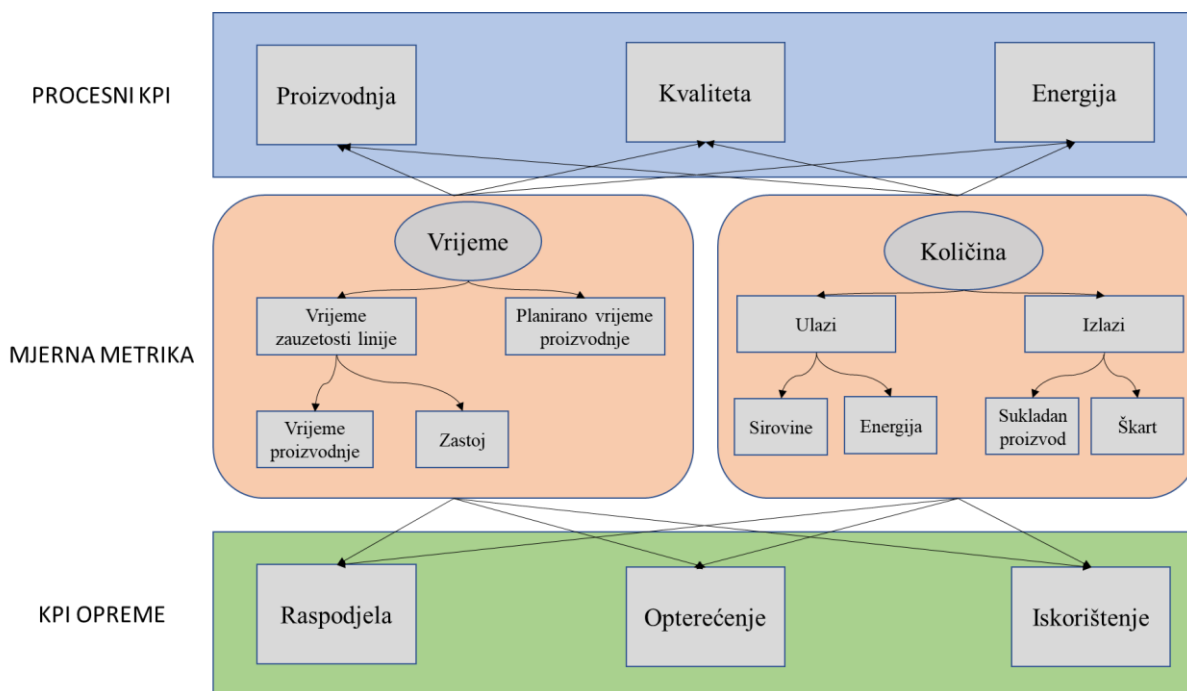
5.3. Prinos prvog prolaza (FTY)

Prinos prvog prolaza (eng. *First Time Yield – FTY*) predstavlja pokazatelj uspješnosti koji pruža osvrt na prvobitnu kvalitetu izlaza naših procesa. Definiše se kao broj proizvoda koji su u prvom pokušaju ispravno prošli kroz procesni korak ili cijeli proces, a na taj način indirektno se ističe količina dorade koja je prisutna proizvodnji koju je potrebno eliminirati.

5.4. Ključni pokazatelji u procesnoj industriji

Standard ISO 22400 (II. dio) predstavio je okvir prikupljanja podataka za izračun ključnih pokazatelja uspješnosti, ali i predstavio pokazatelje uspješnosti važne za procesnu industriju. Ključni pokazatelji uspješnosti mogu biti podijeljeni u tri kategorije – Vrijeme, Kvaliteta i Logistika. Zbog specifičnosti procesne industrije, operateri teško mogu vidjeti i izmjeriti proizvod za vrijeme odvijanja proizvodnog procesa, a jedini mjerljivi logistički pokazatelji uspješnosti su proizvodni ulazi i izlazi. Tako za procesnu industriju ulazi uključuju sirovine i uloženu energiju, dok izlazi predstavljaju ispravne i nesukladne proizvode. Također, zbog istog razloga sirovina, proizvodnja i uložena energija predstavljaju tri najvažnija faktora koja utječu na razinu izvedbe. Budući da procesna proizvodnja ima neprekidan tijek, veliki utjecaj na ishod

proizvodnog procesa ima i proizvodna oprema, stoga se ključni pokazatelji u procesnoj industriji mogu podijeliti na pokazatelje vezane uz proces i opremu [56].



Slika 20. Model mjerjenja ključnih pokazatelja uspješnosti u procesnoj industriji
– prilagođeno iz [56]

Ključni pokazatelji uspješnosti vezani uz opremu:

1. **Omjer raspodjele** (eng. *Allocation ratio* – AR) predstavlja omjer stvarne i maksimalno moguće stope proizvodnje. Ovime se pružaju značajne informacije o raspodjeli dostupnih kapaciteta
2. **Učinkovitost iskorištenja** (eng. *Utilization efficiency* – UE) je omjer između stvarne i planirane stope proizvodnje
3. **Stupanj opterećenosti opreme** (eng. *Equipment load ratio* – ELR) predstavlja odnos između stvarne količine proizvedenih proizvoda i maksimalnog mogućeg kapaciteta opreme

Ključni pokazatelji uspješnosti vezani uz proces dijele se u tri skupine, one vezane uz proizvodnju, kvalitetu i energiju.

Pokazatelji uspješnosti vezani uz proizvodnju:

1. **Prolazno vrijeme** (eng. *Throughput time*) označava vrijeme potrebno da se proizvede jedan proizvod od početka do kraja, a izražava se u proizvedenim komadima.
2. **Tehnička učinkovitost** (eng. *Technical efficiency*) omjer stvarnog vremena proizvodnje i vremena zauzetosti linije.

Pokazatelji uspješnosti vezani uz kvalitetu:

1. **Kvalitativan omjer** (eng. *Quality ratio*) definira odnos između proizvoda koje je potrebno proizvesti i stvarno proizvedenih proizvoda
2. **Omjer stvarnog i planiranog škarta** (eng. *Actual to planned scrap ratio*) je odnos između planirane i stvarne količine nesukladnih proizvoda
3. **Postotak škarta** (eng. *Scrap ratio*) označava udio nesukladnih proizvoda u ukupnoj količini proizvedenih proizvoda
4. **Postotak gotovih proizvoda** (eng. *Finished goods ratio*) predstavlja omjer između željene količine proizvoda u odnosu na uloženi materijal i energiju

Pokazatelji uspješnosti vezani uz energiju:

1. **Potrošnja energije** (eng. *Energy consumption*) pokazatelj je koji govori o ukupno potrošenoj energiji u jednom proizvodnom ciklusu te se iskazuje po jedinici proizvedenog proizvoda

6. PRIMJENA SMED ALATA U ODABRANOM PODUZEĆU

Primjena SMED alata u svrhu smanjenja vremena podešavanja stroja može imati mnogo načina primjene i mjerenja ciljane metrike, kako je to opisano u poglavlju 4.3.2.5.

Jedan od načina primjene SMED alata je u upravo u kombinaciji s drugim alatima, a kako bi se njegova primjena pokazala na primjeru proveden je projekt u realnom poduzeću. Konkretno u ovom slučaju primjena SMED alata vršit će se u kombinaciji s DMAIC pristupom rješavanja problema. Cilj ovoj projekta bio je smanjiti vrijeme izmjene alata na odabranoj liniji prilikom prelaska s jednog na drugi proizvod kako bi se povećala fleksibilnost proizvodnog planiranja.

6.1. Ograničenja

U svrhu zaštite poslovnih podataka identitet kompanije i njeni podatci neće se otkrivati. Umjesto toga kompaniju će se osloviti nazivom „ABC“.

6.2. Uvodno

Prije same primjene SMED alata bilo je potrebno odabrati liniju od najvećeg značaja za provođenje ovog projekta budući da kompanija ABC do sada nije imala iskustva u implementaciji Lean Six Sigma alata za unaprjeđenje svojih poslovnih procesa.

Kompanija ABC proizvodi ukupno 136 različitih proizvoda na 9 proizvodnih linija, a u svrhu ovog projekta proizvodi su grupirani u 48 grupa kako bi se olakšao proces donošenja odluka na projektu.

Menadžment kompanije reducirao je broj linija koje ulaze u uži izbor za provedbu SMED alata na temelju strateških i operativnih ciljeva kompanije. Između pet ponuđenih proizvodnih linija bilo je potrebno odabrati onu čije bi povećanje fleksibilnosti donijelo najviše značaja.

Kako bi se odabrala linija za provedbu SMED alata prikupljene su informacije o svakoj pojedinoj liniji, prikupljeni podatci obuhvaćali su informacije o tome koliko je vremena utrošeno za pranje i izmjenu alata na pojedinoj liniji u posljednja 3 mjeseca, ali i koliko je vremena utrošeno za stvarnu proizvodnju proizvoda. Na temelju toga izračunao se udio izmjene alata u ukupnom vremenu proizvodnje za svaku spomenutu liniju. Također, proizvodne linije razlikuju se po proizvodnom kapacitetu pa je bilo bitno izračunati i količinu proizvoda koja se

teorijski izgubila zbog vremena utrošenog u izmjenu alata. Navedeni podatci prikazani su na Slici 21.

Linija	Pranje [min]	Izmjena alata [min]	Ukupno [min]	Proizvodnja [min]
Proizvodna linija 1	4275	3190	7465	73890
Proizvodna linija 2	4535	3360	7895	49870
Proizvodna linija 3	3300	2820	6120	67495
Proizvodna linija 4	3615	1545	5160	45216
Proizvodna linija 5	4725	2445	7170	68467
Linija	Izmjena alata [%]	Izgubljene kutije	Broj proizvoda u kutiji	Izgubljeni proizvodi
Proizvodna linija 1	10,10%	41928	20	838560
Proizvodna linija 2	15,83%	123820	4	495280
Proizvodna linija 3	9,07%	68340	22	1503480
Proizvodna linija 4	11,41%	33110	36	1191960
Proizvodna linija 5	10,47%	40272	20	805440

Slika 21. Polazna metrika proizvodnih linija

Kako je označeno na Slici 21., analizom i dogovorom s menadžmentom odlučeno je da je Proizvodna linija 3 od najvažnijeg značaja za provedbu SMED alata u svrhu povećanja fleksibilnosti. Imajući na umu da su marže svih proizvoda, neovisno o liniji na kojoj se proizvode, približno jednake odlučeno je kako će količina izgubljenih komada biti ključna metrika za odabir proizvodne linije. Iako kod Proizvodne linije 2 udio izmjene alata ima najveći dio u ukupnom vremenu proizvodnje njena količina teorijski izgubljenih proizvoda 3 puta je manja od onih na Proizvodnoj liniji 3. Tako je neovisno o udjelu izmjene alata u ukupnom vremenu proizvodnje Proizvodna linija 3 izabrana za provođenje ovog projekta budući da posjeduje najveći jedinični proizvodni kapacitet.

6.3. DMAIC pristup

U ovom projektu konkretna primjena SMED alata vršila se uz strukturirani pristup rješavanja problema naziva DMAIC ciklus, tako je ovaj projekt sproveden kroz prve četiri faze DMAIC ciklusa – Faza definiranja, Faza mjerenja, Faza analiziranja, Faza poboljšanja. Finalna faza DMAIC pristupa, Faza kontrole, nije sprovedena budući da je nakon provedbe Faze poboljšanja došlo do promjene u vodstvu kompanije te je odlučeno da se projekt neće nastaviti.



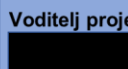
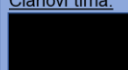
DMAIC pristup pružio je dodatne alate za istraživanje procesa i strukturiran način donošenja odluka, a navedeni alati biti će detaljno prikazani u narednim poglavljima.

6.3.1. Faza definiranja

Faza definiranja, kao prva faza DMAIC pristupa, ima za zadatak definirati projekt iz tri osnovne perspektive kada god je to moguće. Potrebno je Projektom poveljom (eng. Project Charter) definirati osnovne elemente projekta – definicija problema, cilj projekta, projektni tim, ključna metrika, vremenski okvir projekta, ulazne poluge projekta, isporučene materijale te opseg projekta. Također, potrebno je općenito definirati proces koji je predmet promatranja ovog projekta što je učinjeno raspisivanjem SIPOC dijagrama.

Na kraju, potrebno je analizom povijesnih podataka kompanije procijeniti trenutnu izvedbu ciljane metrike koja je glavni pokazatelj projekta.

6.3.1.1. Projektna povelja

Definicija problema Proces izmjene alata nije standardiziran, imamo smanjenu raspoloživost proizvodne linije 3 . 9,1% ukupnog vremena proizvodnje otpada na izmjenu alata Broj teorijski izgubljenih komada: 1 503 480	Korisnici projekta   Operateri, Mehaničari	Projektni tim Voditelj projekta:  Članovi tima: 	Vrijeme trajanja projekta Vrijeme trajanja: 3 mjeseca Rok trajanja: 15.04 – 15.07 Akcijski plan: Definiranje – do 6.05 Mjerenje & Analiziranje – 15.06 Poboljšanje – do 1.07 Kontrola – do 15.07 na dalje
Cilj projekta Smanjiti trajanje izmjene alata na proizvodnoj liniji 3 što je više moguće kako bi se povećala proizvodna fleksibilnost linije	Isporučeni materijali <ul style="list-style-type: none"> Znanje o tome kako proces zapravo izgleda (SIPOC, Dijagram toka) Spoznaje o dijelovima procesa gdje se stvara gubitak Konkretna mjerenja vremena u procesu izmjene alata 	Poluge projekta <u>U projektu:</u> <ul style="list-style-type: none"> Historijski podatci godina 2020., 2021 do 4 mjeseca. Znanja rukovoditelja, tehnologa, operatera, mehaničara <u>Iz projekta:</u> <ul style="list-style-type: none"> Strukturirani proces provedbe projekata unaprjeđenja Svijest radnika o važnosti ovih projekata 	Ključna metrika projekta Vrijeme potrebno da prijedemo s proizvoda na proizvod na Proizvodnoj liniji 3 Metrika: vrijeme od zadnjeg dobrog proizvoda jedne serije do prvog dobrog proizvoda druge serije
Opseg projekta <u>In scope:</u> Proces izmjene alata na Proizvodnoj liniji 3 Izmjena alata + pranje stroja <u>Out of scope:</u> Vrijeme zastoja, proces tjednog pranja			

Slika 22. Projektna povelja

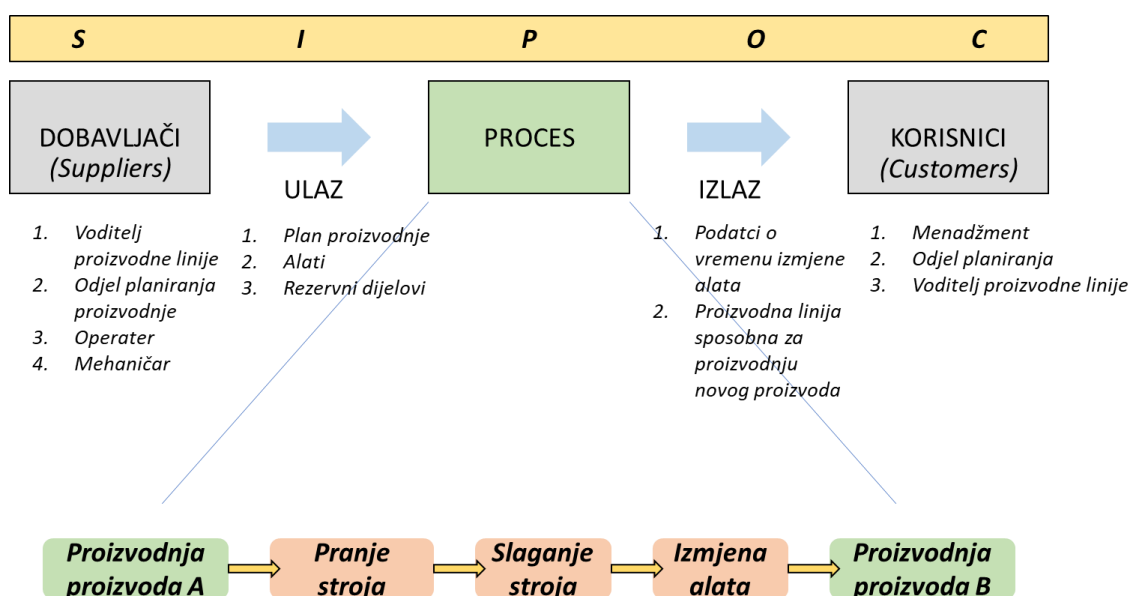
Projektna povelja sadrži osnovne informacije o projektu, a temelj svakog dobrog projekta je dobro definiran izazov koji se je potrebno savladati. U ovom konkretnom slučaju, smanjena je raspoloživost Proizvodne linije 3 zbog vremena trajanja izmjene alata za 9,1%. Drugim riječima cilj ovog projekta je smanjiti vrijeme trajanja izmjene alata na Proizvodnoj liniji 3. Opsegom projekta definirane su koje stvari ulaze u razmatranje, a koje ne, prilikom analize i poboljšanja procesa izmjene alata. U razmatranje će se uzeti proces izmjene alata na stroju i proces pranja stroja, dok proces tjednog pranja, koji je definiran standardima industrije i vrijeme zastoja u proizvodnji neće biti obuhvaćeno ovim projektom.

Kao ključna metrika projekta istaknulo se vrijeme potrebno za odvijanje izmjene alata ili kako je to definirano u projektnoj povelji – vrijeme od zadnjeg proizvedenog proizvoda prve serije do prvog proizvedenog ispravnog proizvoda druge serije.

Projekt je definiran u trajanju od 3 mjeseca čije su faze raspisane kako je prikazane na Slici 22., a osobe koje će imati najviše dobiti od ovog projekta su operateri i mehaničari koji vrše samu izmjenu alata, ali i odjel planiranja proizvodnje.

Slijedeći korak u definiranju projekta je dobiti više informacija o samom procesu koji je predmet projekta. Tako je kreiran SIPOC dijagram koji je detaljnije prikazan na Slici 23.

6.3.1.2. SIPOC dijagram



Slika 23. SIPOC dijagram

SIPOC dijagram važna je karika u fazi definiranja projekta budući da detaljnije predstavlja već spomenuti opseg projekta. SIPOC dijagramom dobiva se kompletan pregled promatranog procesa, s jasno definiranim ulazima i izlazima te njegovim dobavljačima i korisnicima.

Proces izmjene alata započinje završavanjem proizvodnje proizvoda A te završava početkom proizvodnje proizvoda B. Konkretnije, kao početak vremena izmjene alata uzima se zadnji dobro proizvedeni proizvod A te prvi dobro proizveden proizvod B. Sam proces izmjene alata vrši se u tri koraka: pranje stroja, slaganje stroja i izmjena alata. Pranje stroja vrši se na dva načina, vanjsko pranje stroja koje izvršava operater ili sezonski radnik i unutarnje pranje stroja

koje je programski definirano unutar stroja. Slaganje stroja predstavlja skup aktivnosti izmjena na stroju koju mogu izvršavati operateri ili samostalni poslužiocci stroja, za razliku od procesa izmjene alata koju izvršavaju isključivo električari.

Ulazi promatranog procesa su alati i rezervni dijelovi stroja s kojima se fizički vrši promjena na stroju. Također, jedan od ulaza u proces je i plan proizvodnje kojim je definirana potreba za izmjenom alata te tako predstavlja strateški važan ulaz. Izlazi promatranog procesa vidi se kroz samu fizičku promjenu proizvodne linije koja je nakon izvršenog procesa spreman proizvoditi novi proizvod, no kao drugi izlaz ističe se vrijeme kao povratna informacija o razini izvedbe samog procesa.

Po završetku faze definiranja biti će potrebno detaljnije analizirati osnovno opisani proces kako bi se dobilo veće znanje o samim koracima izvedbe procesa te kako bi se identificiranim aktivnostima moglo pripisati odgovarajuće vrijeme trajanja.

6.3.1.3. Povijesna analiza podataka

Kompanija ABC ne posjeduje ERP sustav, već strateški važne podatke o svojim procesima bilježi u Excel tablice koje su međusobno umrežene. U spomenutu bazu podataka operateri ručno unose podatke prilikom čega dolazi do velikog broja grešaka budući da polja nemaju već definirane vrijednosti za unos. Budući da bi svi zaključci doneseni na osnovu ovih podataka bili upitne kvalitete te da bi bilo potrebno mnogo truda uložiti da se vjerodostojnost podataka provjeri, uz konzultaciju s menadžmentom, dogovoreno je kao se povijesni podatci o vremenima izmjene alata neće uzeti u obzir.

Umjesto analize povijesnih podataka, odmah se pristupilo snimanju početnog stanja procesa o kome će se dalje govoriti u narednom poglavlju.

6.3.2. Faza mjerenja

Nakon što smo u prvoj fazi DMAIC ciklusa definirali projekt i njegove osnovne značajke, opisali proces koji je predmet našeg razmatranja te ukoliko je moguće analizirali povijesne podatke kompanije, spremni smo preći na sljedeću fazu, fazu mjerenja.

U fazi mjerenja potrebno je snimiti početno stanje procesa te ga procesno i vremenski okarakterizirati. Drugim riječima, potrebno je napraviti detaljan dijagram toka koji obuhvaća sve aktivnosti ovog procesa te zatim svakoj navedenoj aktivnosti dodijeliti vrijeme njenog

trajanja kako bi mogli identificirati koje su to aktivnosti koje oduzimaju najveći dio od ukupnog vremena izmjene alata.

Da bi navedeno mogli učiniti potrebno je odrediti grupu proizvoda i tip izmjene alata koji je najznačajniji za promatranje.

Slika 24. prikazuje normirana vremena trajanja izmjene alata za prijelaz na različite grupe proizvoda. Tako je ustanovljeno da prijelaz s grupe proizvoda A, B ili C na grupu proizvoda D i E najznačajniji za ovaj projekt. Isto vrijedi i obratno, kada se s grupe proizvoda D ili E prelazi na grupu proizvoda A, B ili C. Kao što se vidi na Slici 24. normirano vrijeme trajanja izmjene alata za navedene grupe proizvoda je pet sati budući da se radi o najobuhvatnijim izmjenama alata proizvodne linije 3. Kako bi se napravio prijelaz između navedenih grupa proizvoda potrebno je potpuno prenamijeniti proizvodnu liniju što u ostalim kombinacijama nije potrebno, zbog čega su i vremena izmjene alata u tim slučajevima znatno kraće.

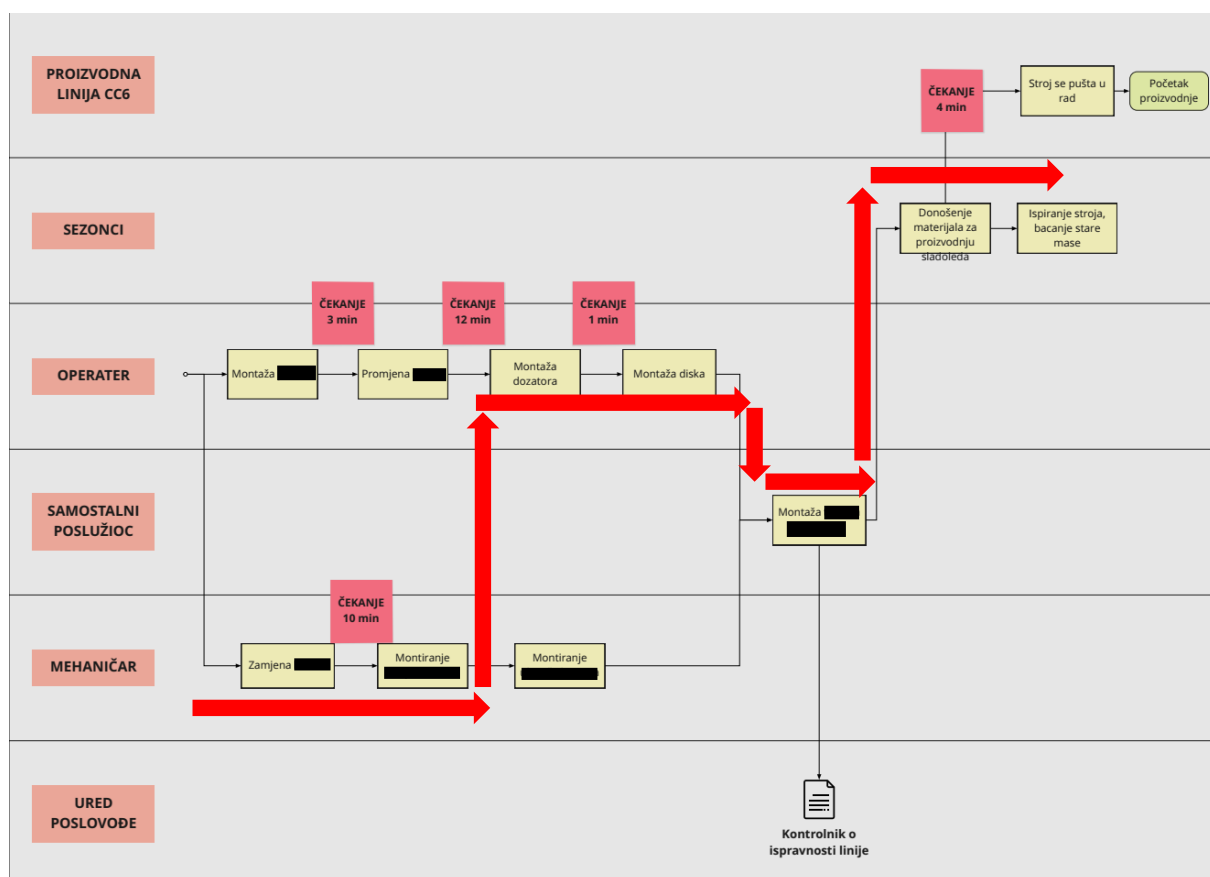
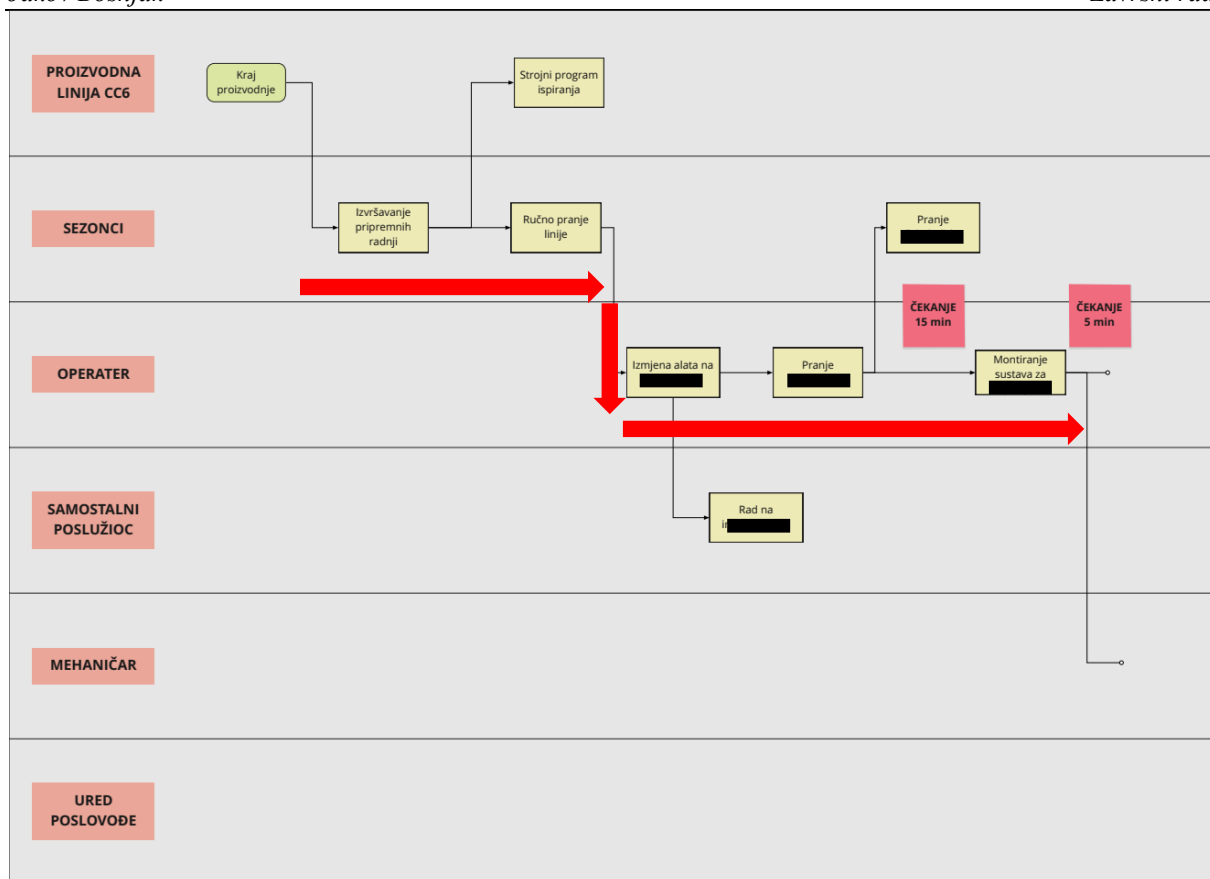
	GRUPA PROIZVODA A	GRUPA PROIZVODA B	GRUPA PROIZVODA C	GRUPA PROIZVODA D	GRUPA PROIZVODA E
GRUPA PROIZVODA A	0,5	1	0,5	5	6
GRUPA PROIZVODA B	1,5	0,5	1,5	5	6
GRUPA PROIZVODA C	0,5	1	0,5	5	6
GRUPA PROIZVODA D	5	5	5	3	4
GRUPA PROIZVODA E	5	5	5	4	

Slika 24. Normirano vrijeme trajanja izmjene alata za grupe proizvoda

Mjerenje početnog stanja izvršilo se na procesu izmjene alata s grupe proizvoda A na grupu proizvoda D. Važno je naglasiti da se zbog predviđenog vremena trajanja izmjene alata i zbog količine obuhvaćenog prostora za mjerenje početnog stanja korištene su kamere koje se nalaze unutar kompanije. Snimke su naknadno detaljno analizirane

6.3.2.1. Mapiranje početnog stanja

Mapiranjem početnog stanja definirale su se sve operacije koje obuhvaćaju jedan proces izmjene alata na proizvodnoj liniji 3. Također, svakoj od navedenih operacija dodijeljen je i odgovorni izvršilac kako bi se bolje razumio cijeli tijek procesa.



Slika 25. Dijagram toka – početno stanje

Kako to prikazuje Slika 25., u procesu izmjene alata na proizvodnoj liniji 3 s grupe proizvoda A na grupu proizvoda D sudjelovalo je šest izvršilaca. Ukupno je provedeno 19 različitih operacija kako bi se kompletirala izmjena alata. Na prvi pogled odmah se da uočiti kako sve operacije koje obuhvaćaju proces izmjene alata, kako je trenutno definirano, spadaju u unutarnje aktivnosti, odnosno one koje se izvršavaju za vrijeme dok proizvodna linija ne proizvede proizvode. Jedan od ciljeva provedbe SMED alata nalaže da identificiraju unutarnje aktivnosti koje se uz prilagodbu mogu pretvoriti u vanjske aktivnosti, odnosno one koje se izvršavaju za vrijeme dok stroj radi. Dakako, provedba SMED alata je iterativni postupak gdje se iz iteraciju u iteraciju smanjuje vrijeme izmjene alata. Konkretno u našem slučaju, mjerenje početnog stanja predstavlja prvu iteraciju primjene SMED alata u kojoj želimo identificirati one aktivnosti koje najviše utječu na duljinu trajanja izmjene alata. Identificirane aktivnosti će se pokušati optimizirati, a zatim i pretvoriti, koliko je to moguće, u vanjske aktivnosti.

Prilikom izrade dijagrama toka dala se uočiti značajna količina praznog hoda, odnosno čekanja, između operacija koje je potrebno izvršiti da bi se kompletirala izmjena alata. Čekanja su jasno naznačena na dijagramu toka te ukupno iznose 50 minuta od ukupnog vremena izmjene alata.

Nadalje, jasno je kako najveći broj operacija izvršavaju mehaničari koji su zaduženi za izmjenu kompleksnih alata na stroju te operateri koji samostalno izmjenjuju modularne alate.

Kako bi se odredile aktivnosti koje najviše utječu na vremensko trajanje izmjene alata potrebno je svakoj od dodijeljenih operacija pridružiti komponentu njihovog trajanja kako bi se one kvantitativno usporedile.

Da bi se adekvatno definiralo vrijeme trajanja izmjene alata, zbog toga što se veliki broj aktivnosti koje izvršavaju operater i mehaničar izvršavaju paralelno određen je kritičan put izmjene alata. Kako je to označeno na Slici 25., kritični projektni put označavaju slijedeće aktivnosti: *Izvršavanje pripremnih radnji – Ručno pranje linije – Izmjena alata dozatora br.1 – Pranje dozatora br.1 – Montaža sustava za dodatke br.1 – Zamjena podložaka – Montiranje uređaja za ambalažu – Montaža dozatora br.2 – Montaža diska – Montaža sustava za dodatke br.2 – Donošenje materijala za proizvodnju – Puštanje linije u rad*

6.3.2.2. Vremenska analiza početnog stanja

Ukupno vrijeme trajanja izmjene alata bilo je 200 minuta (3 sata i 20 minuta), a raspodjela vremena po aktivnostima kritičnog puta prikazana je u Tablici 8.

Tablica 8. Raspodjela vremena aktivnosti kritičnog puta

Naziv operacije	Izvršilac	Trajanje [min]	Udio [%]
Izvršavanje pripremnih radnji	Sezonac	6	3,0%
Ručno pranje linije	Sezonac	9	4,5%
Izmjena alata i pranje dozatora br.1	Operater	37	18,5%
Montaža sustava za dodatke br.1	Operater	7	3,5%
Zamjena podložaka	Mehaničar	70	35,0%
Montiranje uređaja za ambalažu	Mehaničar	4	2,0%
Montaža dozatora br.2	Operater	5	2,5%
Montaža diska	Operater	7	3,5%
Montaža sustava za dodatke br.2	Samostalni poslužilac	2	1,0%
Donošenje materijala za proizvodnju	Sezonac	4	2,0%
Puštanje linije u rad	Sezonac	2	1,0%
Čekanje	-	47	23,5%
	UKUPNO	200	

Iz Tablice 8. vidljivo je da 53,5% ukupnog vremena izmjene alata odlazi na dvije operacije, operacija izmjene podložaka i operacija izmjene alata i pranja dozatora br.1. Konkretnije, od 200 minuta trajanja izmjene alata, 70 minuta otišlo je na zamjenu podložaka, dok je 37 minuta utrošeno u rad na dozatoru br.1. Također, u ukupnom vremenu izmjene alata značajan dio vremena, 23,5%, odlazi na među-operacijsko čekanje, što govori o lošoj standardizaciji procesa izmjene alata.

Primjenom Paretovog principa, koje glasi da jen 20% faktora odgovorno za 80% rezultata, zaključujemo da bi fokusiranjem na navedene tri operacije – izmjena alata i pranje dozatora br.1, zamjena podložaka na liniji te među-operacijsko čekanje značajno smanjili vrijeme izmjene alata.

Kako bi spomenuto ostvarili prvo je potrebno bolje razmotriti izvođenje navedenih operacija kako bi se definirale aktivnosti unutar samih operacija koje dodaju ili ne dodaju vrijednost samom procesu.

6.3.3. Faza analiziranja

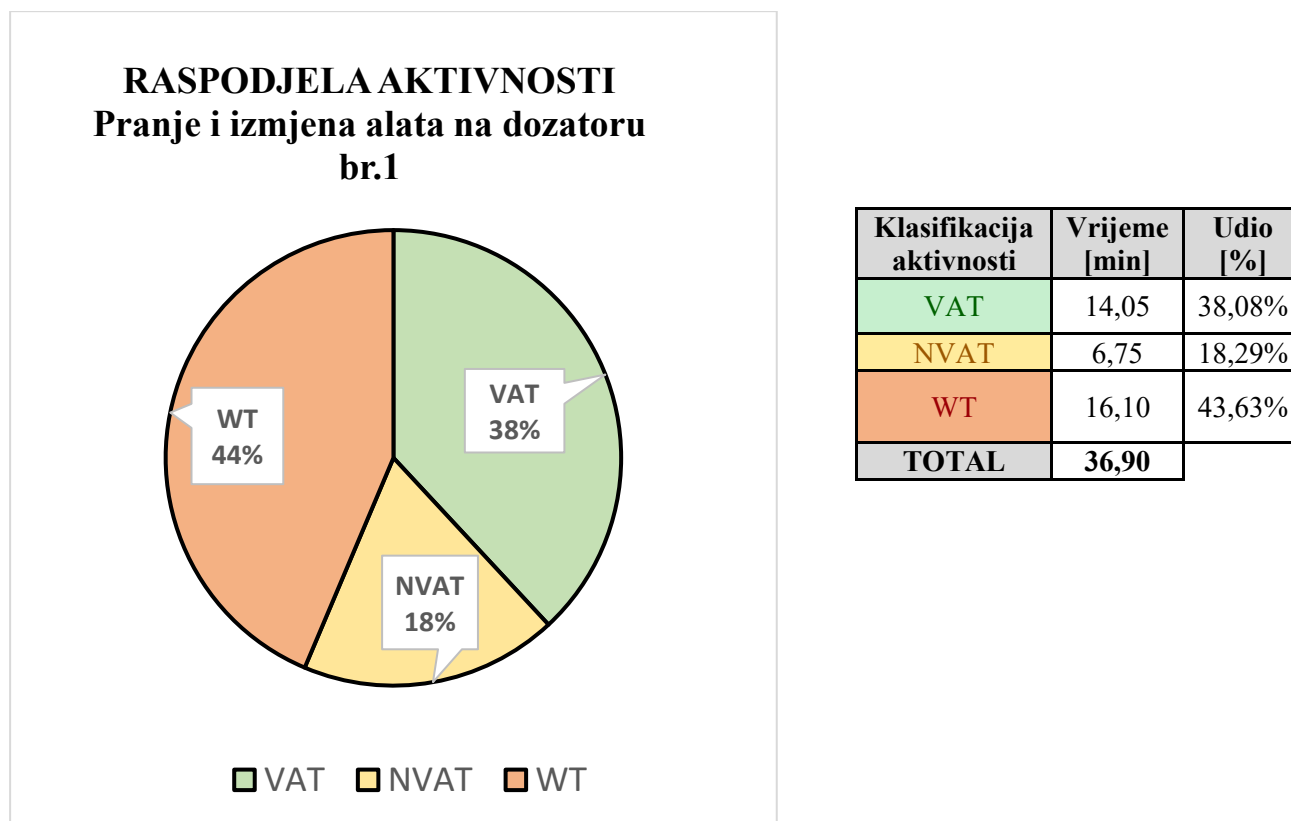
U fazi analiziranja potrebno je uzročno-posljedičnom analizom povezati razinu izvođenja procesa s najznačajnijim faktorima koji na nju utječu. Konkretno potrebno je identificirati koje konkretne aktivnosti su najviše utjecale na duljinu trajanja izmjene alata.

Za istaknute operacije u poglavlju 6.3.2.2. potrebno je definirati sve aktivnosti koje su njima obuhvaćene. Aktivnosti je zatim potrebno klasificirati u tri kategorije – aktivnosti koje dodaju vrijednost procesu (VAT), aktivnosti koje ne dodaju vrijednost procesu ali su nužne (NVAT) te aktivnosti koje su čisti gubitak (WT).

Koristeći videosnimke izmjene alata, ovoga puta se fokusiramo na aktivnosti pojedinih procesa te ih bilježimo do najsitnijih detalja.

6.3.3.1. Operacija pranja i izmjene alata na dozatoru br.1

Operacija pranja i izmjene alata na dozatoru br.1 kako je istaknuto u Tablici 8. traje 37 minuta, a sastoji se od 50 aktivnosti, od toga 17 koje dodaju vrijednost i 33 koje su nužne ili čisti gubitak.



Slika 26. Klasifikacija aktivnosti – dozatora br.1

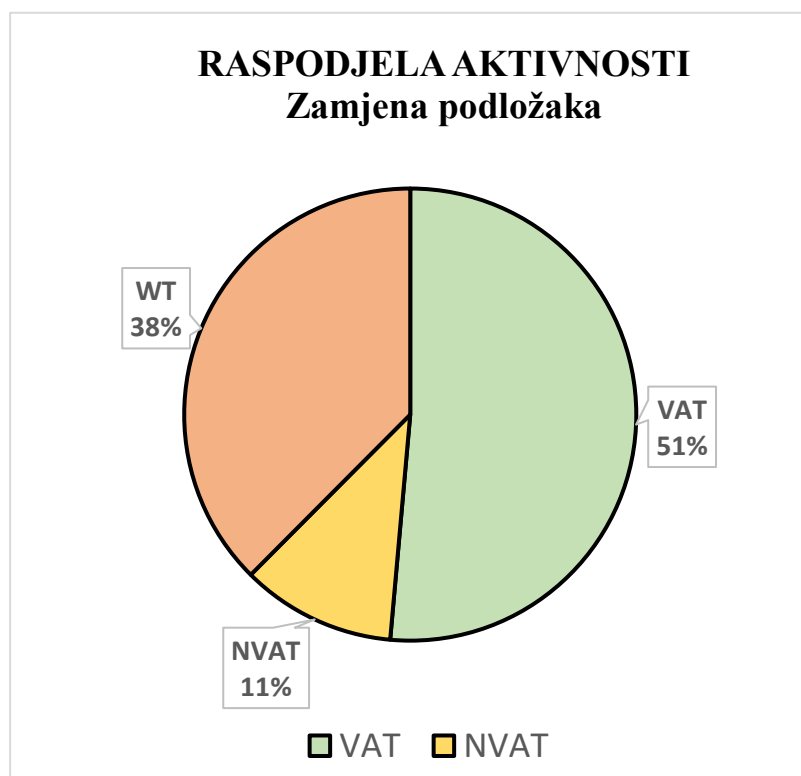
Od ukupnog vremena rada na dozatoru br.1 u procesu izmjene alata samo nešto malo više od 14 minuta odlazi na aktivnosti koje dodaju vrijednost, dok 16 minuta spadaju u čisti gubitak, skoro 7 minuta otpada na operacije koje ne stvaraju vrijednost ali su nužne što prikazuje Slika 26.

Od aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su čisti gubitak ističu se dvije vrste aktivnosti po učestalosti. U prvu kategoriju aktivnosti spadaju odlasci po rezervne dijelove koji se nalaze na stalaži, a druga grupa aktivnosti obuhvaća radnje koje se odnose na pranje dijelova koje je nakon pranja potrebno ponovo montirati na dozator br.1.

Također, iako aktivnosti pranja jesu okarakterizirane kao one koje dodaju vrijednost, uočene su nepravilnosti prilikom izvođenja istih. Steče se dojam o prekomjernoj potrošnji vode, što također ostavlja posljedice na duljinu trajanja same operacije.

Primjetno je kako prilikom izvedbe ove operacije ne postoji standardna praksa rada te kako trajanje pojedinih aktivnosti nije normirano. Nadalje nedostatak rezervnih dijelova uzrokuje javljanje više nepotrebnih aktivnosti, poput pranja dijelova pa zatim ponovnog montiranja, koje produžuju vrijeme trajanja operacije.

6.3.3.2. Operacija izmjene podložaka



Klasifikacija aktivnosti	Vrijeme [min]	Udio [%]
VAT	36,30	51,42%
NVAT	7,80	11,05%
WT	26,50	37,54%
TOTAL	70,60	

Slika 27. Klasifikacija aktivnosti – Zamjena podložaka

Operacija izmjena podložaka obuhvaćala je 73 procesne aktivnosti od kojih je bilo 39 onih koje dodaju vrijednost, 9 aktivnosti bilo je nužno sprovesti, a 25 aktivnosti klasificiralo se kao čisti gubitak.

Slika 27. prikazuje vremensku raspodjelu među kategorijama aktivnosti. Ukupno vrijeme potrošeno na ne stvaranje vrijednosti iznosilo je 34,3 minute, što predstavlja nešto malo manje od polovice vremena utrošenog u ovu operaciju.

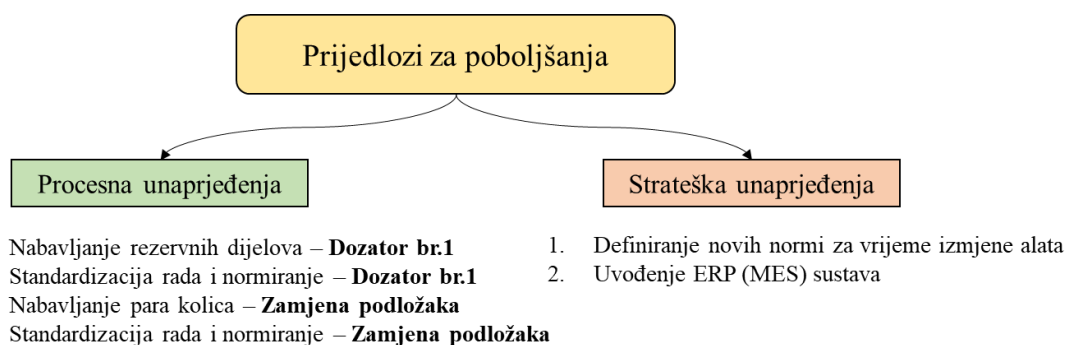
Aktivnosti koje predstavljaju čisti gubitak trajale su 26,5 minuta, a mogu se svrstati u skupinu aktivnosti koje se odnose na nepotreban transport. Proizvodna linija 3 sastoji se od 67 podložaka koje je potrebno zamijeniti, iz video analize uočeno je kako mehaničar nakon svakog skinutog podloška odlazi do stalaže te tamo vrši zamjenu starog za novi čime stvara gubitak nepotrebnog kretanja te posljedično produžuje trajanje same operacije.

Budući da je konkretan način izvođenja procesa iscrpan i bez prekomjernog kretanja mehaničara, obavljen je razgovor s zaposlenikom kako bi se ustanovio razlog takovog postupanja. Utvrđeno je da zaposlenik na radnom mjestu prije nekoliko godina dobio bruha zbog podizanja istih tih podložaka, zbog čega sada izbjegava prenošenje više njih odjednom.

Uz vremensku komponentu i zdravstvena komponenta zaposlenika daje još jedan povod za unaprjeđenje ovog procesa.

6.3.4. Faza poboljšanja

Faza poboljšanja brainstorming je faza u kojoj svi članovi projekta predlažu svoje ideje kako bi se otklonio problem koji se pokušava riješiti. U suradnji s menadžmentom predložena su četiri unaprjeđenja, a shodno rezultatima i otkrićima dobivenim prilikom provođenja projekta. Prijedlozi za unaprjeđenja mogu se grupirati u dvije kategorije kako je to prikazano na Slici 28.



Slika 28. Prikaz predloženih unaprjeđenja

Strateška unaprjeđenja:

1. Definiranje novih normi za vrijeme izmjene alata

Prilikom provođenja projekta, a i konkretno na analiziranom primjeru uočeno je kako definirane norme nisu relevantne za usporedbu s stvarnim vremenom izmjene alata. Primjera radi, u promatranom slučaju izmjene alata stvarno vrijeme trajanja iznosilo je 3 sata i 20 minuta, dok je predviđena norma za tu vrstu izmjene alata 5 sati. Iako je vrijeme trajanja izmjene alata za 1 sati i 40 minuta kraće od predviđene norme uočeno je jako puno potencijala za unaprjeđenje procesa o čemu najbolje govori podatak da je 50 minuta u procesu iskorišteno na međuoperacijsko čekanje u procesu izmjene alata što potvrđuje tezu o potrebi za unaprjeđenjem normi.

2. Uvođenje ERP (MES) sustava

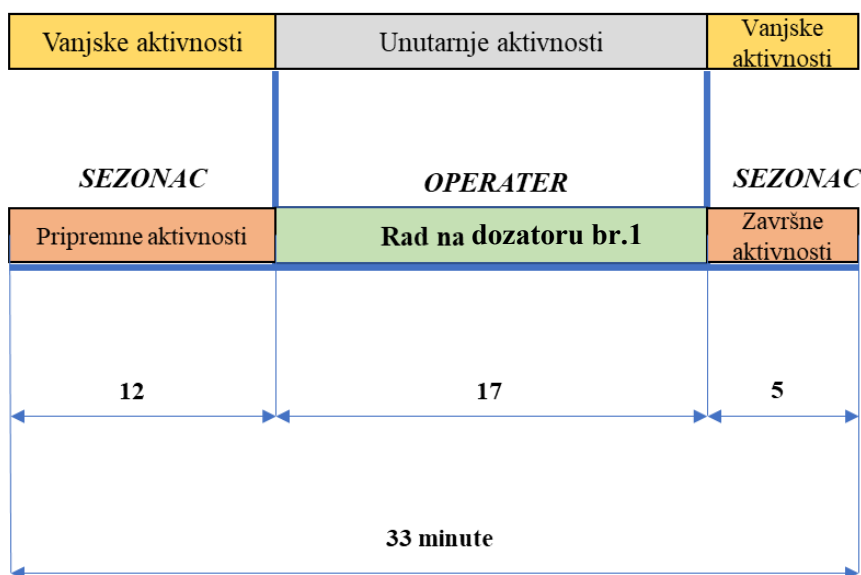
Kompanija ne posjeduje nikakav ERP ili eventualno MES sustav. Kako je to navedeno u poglavlju 6.3.1.3., podaci o razini izvođenja procesa i ostali važni podaci unose se ručno od strane operatera u Excel tablicu. Takav način unošenja podataka rezultira s mnogo grešaka te ne dozvoljava analitičko zaključivanje na temelju podataka. Navedeno situacija se upravo dogodila prilikom provedbe projekta. U bazi podataka je zabilježeno da je trajanje promatrane izmjene alata trajalo 2 sata i 45 minuta, dok je analiza izvršena nakon snimanja početnog stanja pokazala da je proces izmjene alata u tom slučaju iznosio, već navedenih, 3 sata i 20 minuta.

Nadalje, ukoliko se osvrnemo na predložena procesna unaprjeđenja koja su usmjerena na standardizaciju operacija izmjene alata te uklanjanje aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, vidimo kako će novodefinirane norme za provođenje operacija trebati kontrolirati i adekvatno pratiti njihovu realizaciju. Implementiranjem ERP, ili već samo MES, omogućit će uvelike eliminiranje grešaka prilikom unosa podataka, ali i ponuditi interaktivne načine praćenja i izvršavanja normi budući da će se na za to predviđena mjesta moći instalirati tableti koji bi navodili operatere i mehaničare kroz operacije u procesu izmjene alata.

Procesna unaprjeđenja:

1. Standardizacija rada i normiranje – **Dozatora br.1**

Značajno vrijeme u procesu izmjene alata na dozatoru br.1 izgubljeno upravo zbog ne postojanja standarda rada na toj operaciji. Maloprije navedeno imalo je za posljedicu učestalo traženje alata i rezervnih dijelova, stoga je odlučeno standardizirati i normirati proces izmjene alata na dozatoru. Prilikom standardiziranja rada i normiranja sve aktivnosti koje su mogle biti pretvorene u vanjske pretvorene su kako bi ukupno vrijeme stajanja proizvodne linije bilo kraće. S početnih 37 minuta, koliko su trajale operacije na dozatoru, nakon normiranja ukupno vrijeme rada, za vrijeme dok stroj stoji, svedeno je na 17 minuta kako je to prikazano na Slici 29.



Slika 29. Shematski prikaz raspodjele aktivnosti nakon normiranja

2. Nabavka rezervnih dijelova – **Dozator br.1**

Prilikom analize aktivnosti od kojih se sastoji proces rada na dozatoru br.1 ustanovljeno je kako zbog nedostatka rezervnih dijelova operater mora prvo skinuti, zatim oprati te ponovo montirati isti dio. Zbog toga je predložena nabavka rezervnih dijelova kako bi se smanjilo već spomenuto vrijeme trajanja operacija dok je linija isključena. Također, osim rezervnih dijelova predložena je nabavka pokretnih kolica koja bi sadržavala sve potrebne dijelove za izvršavanje izmjene alata i pranja dozatora br.1. Važno je napomenuti da je maloprije spomenuta standardizacije aktivnosti pri radu na dozatoru br.1 pred uvjetovana ovim unaprjeđenjem.

3. Nabavka pokretnih kolica – **Izmjena podložaka**

Prilikom analiziranja aktivnosti procesa izmjene podložaka glavni uzrok za stvaranje vremenskog gubitka bilo je prekomjerno kretanje radnika zbog nemogućnosti da lagano i jednostavno pristupi potrebnim dijelovima izmjenu lamela. Kako bi u budućnosti izbjegli isto, bilo je potrebno nabaviti jedan par pokretnih kolica koja bi se prije početka izmjene podložaka, dok proizvodna linija još radi, dovele na za to predviđenu poziciju. Zatim bi posao mehaničara bio da bez napuštanja proizvodne linije izvrši zamjenu podložaka. Primjer spomenutih kolica prikazan je na Slici 30.

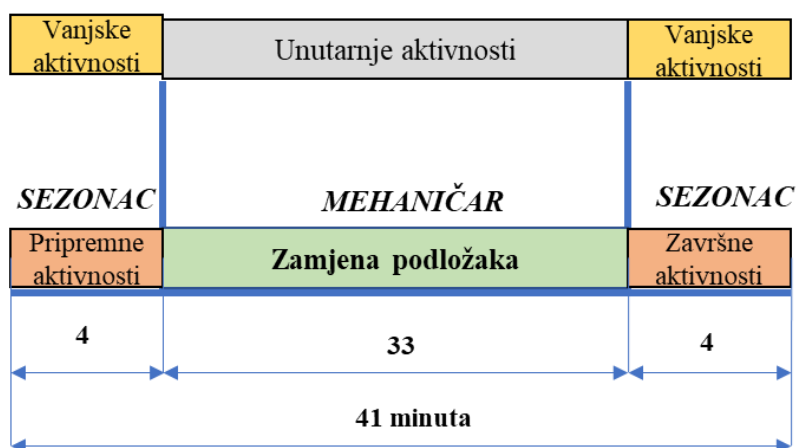
Sljedeći korak u primjeni ovog unaprjeđenja je standardizacija procesa izmjene podložaka.



Slika 30. Pomična kolica

4. Standardizacija rada i normiranje – **Izmjena podložaka**

Kako bi se predloženo unaprjeđenje s pomičnim kolicima na operaciji izmjene podložaka što bolje implementiralo, bilo je potrebno napraviti standardizaciju rada ovog novog postupka. Nakon standardizacije proveden je postupak normizacije istoga. Standardizacijom i normizacijom omogućeno je skraćivanje trajanja ove operacije za više od 50% kako je to prikazano na Slici. 31.



Slika 31. Shematski prikaz raspodjele aktivnosti – Izmjena podložaka

6.3.5. Usporedba početnog i teorijski poboljšanog stanja

Kako je jasno prikazano u Tablici 9., ukoliko bi se ova teorijska unaprjeđenja provela, ukupno vrijeme izmjene alata bilo bi spušteno s početnih 200 minuta, na trenutnih 96 minuta. Drugim riječima teorijski postignuto unaprjeđenje definirano je kao smanjenje vremena podešavanja stroja za 52%.

Nažalost navedena unaprjeđenja nikad nisu sprovedena budući da je za vrijeme testiranja implementacije unaprjeđenja došlo do promjene upravljačke strukture u kompaniji.

Tablica 9. Usporedba početnog i teorijski poboljšanog stanja

Naziv operacije	Izvršilac	Trajanje - početno [min]	Udio - početno [%]	Trajanje - poboljšano [min]	Udio - poboljšano [%]
Izvršavanje pripremnih radnji	Sezonac	6	3,0%	6	6,3%
Ručno pranje linije	Sezonac	9	4,5%	9	9,4%
Izmjena alata i pranje dozatora br.1	Operater	37	18,5%	17	17,7%
Montaža sustava za dodatke br.1	Operater	7	3,5%	7	7,3%
Zamjena podložaka	Mehaničar	70	35,0%	33	34,4%
Montiranje uređaja za ambalažu	Mehaničar	4	2,0%	4	4,2%
Montaža dozatora br.2	Operater	5	2,5%	5	5,2%
Montaža diska	Operater	7	3,5%	7	7,3%
Montaža sustava za dodatke br.2	Samostalni poslužilac	2	1,0%	2	2,1%
Donošenje materijala za proizvodnju	Sezonac	4	2,0%	4	4,2%
Puštanje linije u rad	Sezonac	2	1,0%	2	2,1%
Čekanje	-	47	23,5%	0	0,0%
UKUPNO		200		96	

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu naglasak je bio na korištenju SMED alata uz primjenu DMAIC pristupa kao metodologija za smanjenje vremena trajanja izmjene alata sa ciljem povećanja fleksibilnosti prilikom planiranja proizvodnje.

Nakon definiranja osnovnih teorijskih elemenata radi, većinom kroz definiranje Lean Six Sigma metodologije i njenih alata, na realnom primjeru u poduzeću napravljena je detaljna analiza procesa izmjene alata koristeći DMAIC pristup rješavanja problema u kombinaciji sa SMED alatom na jednoj proizvodnoj liniji. Aktivnosti unaprjeđenja bile su usmjerene u dvije kategorije, procesna unaprjeđenja i strateška unaprjeđenja. Procesna unaprjeđenja odnosila su se na standardizaciju procesa rada, nakon prvobitne eliminacije aktivnosti iz procesa koje ne dodaju vrijednost. Strateška unaprjeđenja odnosila su se na uvođenje ERP sustava budući da kompanija trenutno ne posjeduje adekvatan sustav pohranu i obradu podataka, već se koriste Excelom. Uvođenje ERP sustava omogućilo bi im da sustavno i kontinuirano mogu pratiti razinu izvedbe procesa izmjene alata, što je osnova za kontinuirani razvoj poslovanja.

Pokazano je kako se primjenom SMED alata uspjelo bi se skratiti vrijeme izmjene alata za više od 50%. Konkretno, s 200 minuta na 97 minuta što bi rezultiralo značajnim porastom fleksibilnosti prilikom planiranja proizvodnje. Nažalost, unaprjeđenja nisu sprovedena budući da je došlo do promjene upravljačke strukture za vrijeme projekta.

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

LITERATURA

- [1] Klocke, Fritz, and Aaron Kuchle. *Manufacturing processes*. Vol. 2. Berlin: Springer, 2009.
- [2] Brierley, John A., Christopher J. Cowton, and Colin Drury. "A comparison of product costing practices in discrete-part and assembly manufacturing and continuous production process manufacturing." *International Journal of Production Economics* 100.2 (2006): 314-321.
- [3] Diskretna proizvodnja: <https://www.machine-desk.com/proizvodnja/proizvodnja-vrste-metode-buducnost> (Pristupljeno: 12.09.2022)
- [4] Lee, Sau L., et al. "Modernizing pharmaceutical manufacturing: from batch to continuous production." *Journal of Pharmaceutical Innovation* 10.3 (2015): 191-199.
- [5] Naftna rafinerija: <https://www.nis.rs/galerija-rafinerija-nafte-pancevo-6/> (Pristupljeno 14.09.2022)
- [6] Hammer M., Champy J.: *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*, Harper Collins, New York, 1993.
- [7] Davenport T. H.: *Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology*, Harvard Business Press, 1993.
- [8] Rummler R., Ramias A. J.: *The evolution of the effective process framework: A model for redesigning business processes*, Performance Improvement 48(10), pp. 25-32, 2009.
- [9] ISO 9001:2015, "Quality Management Systems - Requirements," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2015.
- [10] Lukić Z.: *Procesni pristup za uspostavljanje QMS-a u proizvodnji auto-prikolica*, Festival Kvaliteta, 2005.
- [11] Sikavica P., Hernaus T.: *Dizajniranje organizacije: strukture, procesi, poslovi*, Novi informator, Zagreb, 2011.
- [12] Ould M. A., *Business Processes*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 1995.
- [13] Drljača M.: *Prodaja kao proces*, PRO PRO br. 22, str. 16-19, *Suvremena poslovna znanja*, Zagreb, 2005.
- [14] Dvorski M.: *Procesni pristup poslovnim funkcijama na primjeru konkretnog poduzeća*, Diplomski rad, Varaždin, 2018.
- [15] Radojević Z., Stefanović I., Velimirović D.: *Procesni pristup kao osnov implementacije BSC-a i poboljšanja organizacionih performansi*, *Menadžment: časopis za teoriju i praksu menadžmenta* Vol. 14, br. 52, str. 1-7, 2009.

- [16] Rentzhog, O.: Temelji preduzeća sutrašnjice: procesima usmerena poslovna filozofija, Prometej, Novi Sad, 2000.
- [17] Lindorfs, C.: Process orientation : An approach for organizations to function effectively, 2003.
- [18] Škrinjar, R., Indihar Štemberger, M., Hernaus, T.: The Impact of Business Process Orientation on Organizational Performance, Proceedings of the 2007 Informing Science and IT Education Joint Conference, 2007
- [19] Dave, D.K., Muruges, R. and Devadasan, S.R.: Origin, principles and applications of Lean Six Sigma concept, International Journal of Services and Operations Management, 22(2), pp.123-142., 2015.
- [20] Pepper, M.P. and Spedding, T.A.: The evolution of lean Six Sigma. International Journal of Quality & Reliability Management, 27(2), pp.138-155., 2010.
- [21] Snee, R.D., 2010. Lean Six Sigma—getting better all the time. International Journal of Lean Six Sigma, 1(1), pp.9-29
- [22] Buntak B. Implementacija Lean Six sigma metodologije u proizvodno poduzeće, diplomski rad, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2019.
- [23] Barney M. Motorola's Second Generation. U: Six Sigma Forum Magazine, American Society for Quality; 2002..
- [24] Bošnjak J, Pavičić M. Lean Six Sigma Green Belt obrazovni program. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [25] Watson G H. ESTIEM Lean Six Sigma Green Belt Course online materials, 2018.
- [26] Moreira F, Alves AC, Sousa RM. Towards Eco-efficient Lean Production Systems. In Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks.: Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 100-108.
- [27] Womack JP, Jones DT, Roos D. The Machine That Changed the World. Free Press; 1990
- [28] Deming WE. New Economics for Industry, Government, Education: MIT University Press Group Ltd; 2000.
- [29] Imai M. Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy: McGraw-Hill Education Ltd; 2012
- [30] M. Hegedić: Model upravljanja proizvodnjom integriranjem vitkoga i zelenoga menadžmenta, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
- [31] Womack JP, Jones DT. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated: FREE PR; 2003.

- [32] M. Šimić: Primjena Lean six sigma alata u poboljšanju proizvodnih procesa, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 2021.
- [33] 5S alat: <https://www.5stoday.com/what-is-5s/> (Pristupljeno: 03.09.2022.)
- [34] Perinić M, Maričić S, Gržinić E. Primjena SMED metode kao jednog od bitnih alata za unaprjeđivanje proizvodnje. *Strojarstvo*. 2011; 53(5): p. 399-404.
- [35] Coimbra E.A. Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains. Kaizen Institute. 2009
- [36] Shingo S. A revolution in manufacturing: The SMED system. Productivity Press, Stanford, CT. 1985
- [37] Silva, I.B. & Filho, Moacir. (2019). Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
- [38] Boran, S., & Ekinoglu, C. (2017). A novel integrated SMED approach for reducing setup time. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
- [39] Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofo, K., Maladzhi, R., & Kana-Kana Katumba, M. G. (2022). Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry. *Heliyon*, 8(3), e09043
- [40] Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Sanctis, I.D., Mazzuto, G., & Paciarotti, C. (2015). A Changeover Time Reduction through an integration of lean practices: a case study from pharmaceutical sector. *Assembly Automation*, 35, 22-34.
- [41] Ulutas, B.H. (2011). An Application of SMED Methodology. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 5, 1194-1197.
- [42] Almomani, Mohammed & Aladeemy, Mohammed & Hadi, Abde & Mumani, Ahmad. (2013): A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques. *Computers & Industrial Engineering* 66, 461-469.
- [43] Deros, B.M., Mohamad, D., Idris, M.H., Rahman, M.N., Ghani, J.A., & Ismail, A.R. (2013). Setup Time Reduction in an Automotive Battery Assembly Line. *King Mongkut's University of Technology North Bangkok International Journal of Applied Science and Technology*, 4, 9-13.
- [44] Dhankhar A., Kumar S. (2016): Improving line efficiency & SMED study *International Journal of Engineering Research & Technology* 5(05):134–138

- [45] Ibrahim, M.A., Mohamad, E.B., Arzmi, M.H., Rahman, M.A., Saptari, A., Shibghatullah, A.S., Sulaiman, M.A., & Ali, M.A. (2015). Enhancing Efficiency of Die Exchange Process Through Single Minute of Exchanging Die at a Textile Manufacturing Company in Malaysia. *Journal of Applied Sciences*, 15, 456-464.
- [46] Priyanka S., Shilpa M. (2015): Single minute exchange of die in coil manufacturing unit. *IJSETR* 4(6):2174–2178
- [47] Montgomery, Douglas C., and William H. Woodall. “An Overview of Six Sigma.” *International Statistical Review*, vol. 76, no. 3, pp. 329–46., 2008.
- [48] Lazibat T, Baković T. Šest Sigma sustav za upravljanje kvalitetom [izvorni znanstveni rad], 2007.
- [49] Thomas Pyzdek; Paul Keller. Six Sigma Handbook, Fourth Edition (McGraw-Hill Education: New York, 2014.
- [50] Goran Kovačić, Živko Kondić: Statistička analiza sposobnosti procesa proizvodnje strech folije, Tehnički glasnik br.6, pp. 191.-198., 2012.
- [51] Franceschini F, Galetto M, Maisano D. Management by measurement: Designing key indicators and performance measurement systems: Springer Science & Business Media, 2007.
- [52] Neely A, Gregory M, Platts K. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International journal of operations & production management*. 2005;25(12):1228-63.
- [53] Braz RGF, Scavarda LF, Martins RA. Reviewing and improving performance measurement systems: An action research. *International Journal of Production Economics*. 2011;133(2):751-60.
- [54] Fukuda Y, Patzke R. Standardization of key performance indecator for manufacturing execution system. Conference Standardization of key performance indecator for manufacturing execution system. *IEEE*, p. 263-5.
- [55] ISO 22400 Automation Systems and integration - Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. 2014.
- [56] Zhu, L., Johnsson, C., Varisco, M., & Schiraldi, M.M. (2018). Key performance indicators for manufacturing operations management - Gap analysis between process industrial needs and ISO 22400 standard. *Procedia Manufacturing*, 25, 82-88.