

Unaprjeđenje procesa primjenom DMAIC i PDCA pristupa

Crnec, Borna

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:773711>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Borna Crnec

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Hrvoje Cajner, dipl. ing.

Student:

Borna Crnec

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se svojoj obitelji, ocu Saši, majci Maji i bratu Marku na pruženoj podršci i strpljenju tijekom preddiplomskog studija. Isto tako, zahvaljujem se ostatku obitelji i prijateljima. Hvala Vam svima na puno lijepih trenutaka. Zahvaljujem se mentoru Dr. Sc. Hrvoju Cajneru na pruženoj pomoći prilikom pisanja rada. Posebna zahvala ljudima iz odabranog poduzeća na ustupljenim podacima i pomoći.

Borna Crnec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Borna Crnec** JMBAG: **0035221579**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Unaprjeđenje procesa primjenom DMAIC i PDCA pristupa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Process improvement using the DMAIC and PDCA approach**

Opis zadatka:

Bez obzira o kakvom poduzeću se radi, uspjeh organizacije mjeri se isključivo zadovoljstvom klijenata, stoga je važno pratiti i kontinuirano poboljšavati kvalitetu isporučene usluge. Kako bi osigurala konkurentnost na tržištu, proizvodna i uslužna poduzeća moraju kontinuirano unaprjeđivati vlastite procese, proizvode i usluge pa su za te potrebe razvijene različite metodologije. Neke od najpoznatijih metodologija, a koje su se kroz godine provedbe pokazale izuzetno uspješne, su šest sigma metodologija u sklopu koje je DMAIC pristup i LEAN metodologija u sklopu koje je PDCA pristup. DMAIC i PDCA generalno definiraju faze, grupe metoda i alate koji vode ka bržoj implementaciji unaprjeđenja poslovanja. Na odabranom poduzeću konceptualno pokazati primjenu DMAIC ili PDCA pristupa po fazama:

1. Sistematizirati i detaljno snimiti procese.
2. Odabrati metriku i kvantificirati dijelove procesa kao i trenutne vrijednosti ključnih pokazatelja.
3. Analizirati moguće uzročno posljedične veze.
4. Oblikovati prijedlog poboljšanja s kvantitativno izraženim procjenama ključnih pokazatelja.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
 2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
 3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
 2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
 3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Cajner

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. LEAN METODOLOGIJA.....	2
2.1. Principi leana.....	2
2.1.1. Vrijednost perspektive.....	2
2.1.2. Tok vrijednosti	3
2.1.3. Protočnost.....	3
2.1.4. Povlačenje.....	3
2.1.5. Konstantna poboljšanja i težnja k izvrsnosti	3
2.2. Tipovi gubitaka u Leanu	4
2.2.1. Prekomjerna proizvodnja.....	4
2.2.2. Transport.....	4
2.2.3. Čekanje	5
2.2.4. Prekomjerna obrada	5
2.2.5. Zalihe	5
2.2.6. Nepotrebni pokreti	5
2.2.7. Škart.....	6
2.3. Lean alati.....	6
2.3.1. Mapiranje toka vrijednosti (eng. Value stream mapping).....	6
2.3.2. Kaizen	7
2.3.3. 5S metoda.....	7
2.3.4. DMAIC metoda (Define, Measure, Analyse, Improve, and Control)	8
2.3.5. PDCA metoda	12
3. OPIS TRENUTNOG STANJA U PODUZEĆU	15
3.1. Opis problema nedovoljno dobro organiziranog skladišta	18
4. KVANTIFIKACIJA i ANALIZA VREMENA IZUZIMANJA PROIZVODA	21
4.1. Računanje parametara položaja - aritmetička sredina trajanja izuzimanja	23
4.2. Izračun parametara varijacije	24
Koeficijent varijacije:	24
Normalnost distribuiranih podataka	25
4.3. Intervalna procjena očekivane vrijednosti osnovnog vremena izuzimanja.....	26
5. PRIJEDLOG ZA POBOLJŠANJE PROCESA	31
5.1. ABC princip	31
5.1.1. Kategorija A.....	31
5.1.2. Kategorija B.....	32

5.1.3. Kategorija C.....	32
5.1.4. Implementacija ABC pristupa u odabranom poduzeću	33
5.2. Uvođenje MRP i WMS sustava u poduzeće	35
5.3. Prelazak na drugi model poslovanja	37
6. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40

POPIS SLIKA

Slika 1.	Ford pokretna traka 1913. godine	2
Slika 2.	Primjer VSM dijagrama	7
Slika 3.	Pareto dijagram.....	9
Slika 4	PDCA ciklus.....	14
Slika 5.	Dijagram toka materijala poduzeća	17
Slika 6.	Neorganiziranost skladišnog prostora potrošnog i sitnog materijala	19
Slika 7.	Dio skladišta gdje se skladište cijevi različitih materijala i dimenzija.....	20
Slika 8.	Dio skladišta gdje je uskladišten izolacijski materijal.....	20
Slika 9.	Prikaz vremena izuzimanja po kategorijama i projektima	23
Slika 10.	Prikaz prilagodbe normalne distribucije podacima o vremenu izuzimanja za skupinu A u minutama	25
Slika 11.	Studentova t razdioba	27
Slika 12.	Prilagodba lognormalne distribucije podacima iz skupine A.....	28
Slika 13.	Lognormalna razdioba skupine A s pouzdanosti 95%	29
Slika 14.	Podaci za skupinu A izračunati u aplikaciji EasyFit	30
Slika 15.	Tlocrt postojećeg skladišnog prostora poduzeća.....	33
Slika 16.	Prijedlog organizacije skladišnih prostora prema ABC metodi	34
Slika 17.	Shema MRP sustava.....	35
Slika 18.	Shema WMS-a	36
Slika 19.	Proizvodni pogon i skladišni prostor na novoj lokaciji.....	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Udio dijelova iz svake skupine u svim projektima	21
Tablica 2. Vrijeme potrebno za izuzimanje dijelova po kategorijam	22
Tablica 3. Prosječna vremena izuzimanja dijelova po kategorijama u minutama	23
Tablica 4. Izračun standardne devijacije i koeficijent varijacije	24
Tablica 5. Medijan, koeficijent asimetrije i spljoštenosti podataka za skupinu A	26
Tablica 6. Veličine potrebna za izračun Intervala povjerenja očekivanja vremena izuzimanja u minutama za skupinu A.....	26
Tablica 7. Očekivanje i standardna devijacija uzorka podataka	28

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
5S	-	Vitki alata za održavanje radnog mjesta čistim i sigurnijim
DMAIC	-	Definiraj, Izmjeri, Analiziraj, Poboljšaj, Kontroliraj (eng. Define, Measure, Analyze, Improve, Control)
PDCA	-	Planiraj – Učini – Provjeri – Djeluj (eng. Plan – Do – Check – Act)
n	-	Veličina uzorka
\bar{X}	min	Aritmetička sredina
σ	min	Standardna devijacija
V	-	Koeficijent varijacije
α_3	-	Koeficijent asimetrije
α_4	-	Koeficijent spljoštenosti
μ	-	Očekivanje logaritamske razdiobe
ABC	-	Metoda upravljanja zalihama
MRP	-	Materials Requirements Planning
WSM	-	Warehouse management system
X_{opt}	min	Najbrže „optimistično“ vrijeme izuzimanja

X_{pes} min Najsporije „pesimistično“ vrijeme izuzimanja

SAŽETAK

Ovaj završni rad započinje klasifikacijom osnovnih načela Lean menadžmenta i niza alata koji se primjenjuju u tom kontekstu. Sljedeći korak je detaljna analiza specifičnog slučaja u odabranom poduzeću, baveći se posebno problemom kašnjenja uzrokovanog neorganiziranim postojećim skladišnim praksama. Kako bi se dublje razumjela ova problematika, bilježi se vrijeme potrebno za izuzimanje dijelova i provodi se analiza tih vremena različitim metodama. Analiza vremena kreće postavljanjem ciljeva u skladu s PDCA i DMAIC metodologijama. Nadalje, primjenjuje se statistički pristup analizi podataka. Statistički pristup provodi se pomoću korištenja statističke analize procesa, a posebice identifikacije distribucije vremena. Konačno, u radu se predlaže niz rješenja, uključujući primjenu ABC metode skladišta, usvajanje MRP i WSM sustava kao i rješenja koje sugerira mogućnosti preseljenja na lokaciju i integraciju proizvodnih kapaciteta.

Ključne riječi: lean, PDCA, DMAIC, skladište, optimizacija, proces

SUMMARY

This thesis begins with the classification of the fundamental principles of Lean management and the array of tools applied within this context. Subsequently, it conducts a detailed analysis of a specific case within a chosen company, with a particular focus on the issue of delays caused by disorganized warehousing practices. In order to gain a deeper understanding of this issue, the time required for parts retrieval is recorded, and an analysis of these times was conducted using various methods. The time analysis commences by setting goals in accordance with PDCA and DMAIC methods. Furthermore, a statistical approach to data analysis is applied, employing both normal and long-normal distributions. Finally, the thesis concludes by proposing a series of solutions, including the implementation of the ABC warehouse method, the adoption of an ERP system, as well as a solution which suggests as a potential solution the consideration of the possible reallocation with manufacturing capabilities.

Key words: lean, PDCA, DMAIC, warehouse, optimizaton, process

1. UVOD

Cilj svakog poduzeća konstantan je napredak i razvoj. S velikim promjenama u industriji, dolazi i do promjena u načinu vođenja unutar istih. Kako bi se u današnje vrijeme što bolje zadovoljili zahtjevi kupaca, potrebno se koristiti novim i modernijim pristupima. Uz zahtjeve kupaca, poduzeću je bitno ostvariti profit i osigurati zaposlenicima bolje uvjete za rad.

Lean six sigma metodologija spaja dvije metodologije (Lean i Six Sigma metodu), te se kao takva nameće kao jedna od temeljnih stupova svakog uspješnog poduzeća. Krajnji cilj lean six sigma metodologije je unapređenje vrijednosti koje se pružaju korisniku te smanjenje rasipanja u procesima kako bi se postigla visoka efikasnost i manji troškovi stvaranja vrijednosti. To je metodologija koju definiraju faze, grupe metoda i alati koji vode ka bržoj implementaciji optimizacije procesa, a samim time i poboljšanju rada cijelog poduzeća. Odabrani problem u hrvatskom poduzeću će se analizirati pomoću točaka PDCA i DMAIC metoda.

2. LEAN METODOLOGIJA

Koncept Lean-a se temelji na kontinuiranom poboljšanju sustava, u malim koracima, fokusiranom na odstranjivanje gubitaka (rasipanja, prekomjernosti u bilo kojem obliku), radi postizanja kompetitivnosti. Odluke donesene na temeljima pravila metodologije moraju biti u okviru strategije poslovanja poduzeća kako bi sustav bio suvisao i stabilan. Metodologija obuhvaća cijelo poduzeće te su Lean alati primjenjivi u svim odjelima. Lean u prijevodu znači vitak, što bi značilo da se u poduzećima vođenim Lean metodologijom izbacuje sve ono što opterećuje poslovanje poduzeća te ne donosi vrijednost konačnom proizvodu/usluzi.

“Becoming ‘lean’ is a process of eliminating waste with the goal of creating value.” [1]



Slika 1. Ford pokretna traka 1913. godine [2]

2.1. Principi leana

2.1.1. Vrijednost perspektive

Svako poduzeće kao primaran cilj pred sebe postavlja prodaju proizvoda/usluga korisniku po njemu prihvatljivoj cijeni. Cijena, uz to što mora biti prihvatljiva korisniku, mora donijeti profit i poduzeću. Kako bi to bilo izvedivo, poduzeće proizvod mora oblikovati prema potrebama korisnika. Svaka druga radnja u svrhu unaprjeđenja proizvoda/usluge koja ne rezultira većim zadovoljstvom korisnika, smatra se otpadom (*eng. Waste*). Vrlo je važno da

poduzeće detaljno razradi konačni oblik proizvoda, prema detaljnim nuputcima korisnika, prije prelaska na drugi korak u proizvodnji.

2.1.2. Tok vrijednosti

Idući korak u procesu je tok vrijednosti. To je točka u kojoj se mapira cijeli postupak izrade od početka do kraja. Uključuje sve procese i ljude koji su uključeni u njima (od planiranja do isporuke konačnog proizvoda). Pomoću mapiranja i analize toka vrijednosti dolazi se do zaključka koji dijelovi procesa ne pridonose konačnoj vrijednosti, te ih se lakše uklanja.

2.1.3. Protočnost

Nakon što je svladan tok vrijednosti, treba se osigurati da tijekom rada svakog tima teče glatko, imajući pri tome na umu da takav proces može zahtijevati određeno vremensko razdoblje. Često se pri razvoju proizvoda ili usluge uključuje u razvoj multidisciplinarni tim. Uska grla i prekidi mogu se pojaviti u bilo kojem trenutku procesa. Međutim, razbijanjem posla na manje serije i vizualizacijom toka rada, prepreke procesu mogu lako biti identificirane i otklonjene. Važno je imati na umu da takav pristup omogućava bolju kontrolu nad procesom, te da se time olakšava postizanje optimalnih rezultata.

2.1.4. Povlačenje

Stabilan tijek rada osigurava timovima izvršavanje zadataka s većom učinkovitošću i manjim naporom. Kako bi se postigao takav stabilan tijek rada, važno je uspostaviti sustav povlačenja skladu s Lean metodologijom. U ovakvom sustavu, poslovi se aktiviraju tek kada postoji stvarna potreba za njima. Ovaj pristup omogućuje optimizaciju iskorištavanja resursa te isporuku proizvoda ili usluga samo kada postoji stvaran zahtjev za njima.

2.1.5. Konstantna poboljšanja i težnja k izvrsnosti

Nakon što su svi prethodni koraci provedeni, Lean sustav upravljanja već je izgrađen. No, važno je ne zanemariti značaj posljednjeg koraka, koji vjerojatno nosi najveću važnost. Bitno je imati na umu da sustav nije izoliran i nepromjenjiv. Problemi mogu nastati tijekom bilo kojeg od prethodnih koraka. Upravo zato je nužno osigurati da zaposlenici na svim razinama budu aktivno uključeni u kontinuirani proces poboljšanja. Raspoložive su različite tehnike za poticanje stalnog napretka. Primjerice, svaki tim može redovito održavati dnevne sastanke

posvećene kontinuiranom poboljšanju. Na ovim sastancima mogu se raspravljati o postignućima, planovima te preprekama koje se pojavljuju. Takav jednostavan pristup omogućuje svakodnevno razmatranje mogućnosti za unaprjeđenje procesa.

2.2. Tipovi gubitaka u Leanu

2.2.1. Prekomjerna proizvodnja

U procesima često nastaju nepotrebni troškovi i gubitak učinkovitosti iz različitih razloga. Na primjer, stvaranje proizvoda koji nemaju potražnju na tržištu može dovesti do viška zaliha i nepotrebnih resursa. Također, izvođenje nepotrebnih operacija opterećuje resurse i usporava tijek procesa. Dodatni problem je stvaranje viška administrativnih zadataka, kao što su nepotrebni dokumenti, koji troše dragocjeno vrijeme i resurse. Loša procjena tržišne potražnje može rezultirati nepravilnom proizvodnjom i nepotrebnim zalihama. Neskladna komunikacija, bilo da je prekomjerna ili nedovoljna, često dovodi do nesporazuma i zastoja u procesima. Također, proizvodnja "za svaki slučaj" može generirati višak nepotrebnih proizvoda koji neće biti iskorišteni. Sustavna analiza i praćenje ovih aspekata ključni su za postizanje veće efikasnosti i smanjenje nepotrebnih troškova.

2.2.2. Transport

U procesima se često javljaju situacije koje dovode do nepotrebnih troškova i smanjenja efikasnosti. Na primjer, nepotrebno premještanje materijala ili radnih komponenti između različitih operacija ili skladišnih površina može uzrokovati gubitak vremena i resursa. Korištenje zastarjelih i neučinkovitih rasporeda (tzv. layouta) za kretanje materijala dodatno pogoršava situaciju. U cilju poboljšanja, važno je razmotriti i implementirati racionalnije rasporede ili bolje organizirane proizvodne ćelije. Isto tako, neučinkovit transport informacija može biti izvor problema. Ako se informacije ne prenose učinkovito, može doći do zastoja i nesporazuma u procesima. Loša komunikacija može rezultirati gubitkom podataka, nekompatibilnošću i nepouzdanošću informacija. Stoga je bitno uspostaviti pouzdan sustav komunikacije kako bi se osiguralo glatko funkcioniranje procesa.

2.2.3. Čekanje

Čekanje materijala ili radnika može ukazivati na loše planiranje proizvodnje. Smanjenje vremena čekanja zahtijeva usklađivanje proizvodnje i analizu koraka procesa.

Čekanje na ključne informacije ili isporuke materijala može usporiti proces, a optimizacija komunikacije i upravljanje zalihama mogu smanjiti zastoje.

2.2.4. Prekomjerna obrada

Korištenje predimenzioniranih strojeva ili neprimjerene prekomjernu tehnološke opreme, ili provođenje previše vremena na pripremi i završnim operacijama, uključujući čišćenje između obrada, često rezultira nepotrebnim gubicima kako vremena tako i resursa. Prekomplicirani/Presofisticirani proces obrade ili previše koraka unutar samog procesa može usporiti proizvodnju i stvoriti komplikacije koje nisu nužne. Dok pretjerano detaljna obrada može dovesti do suvišnog gubitka vremena i resursa, poglavito ako razina detaljnosti premašuje stvarne zahtjeve kvalitete proizvoda, isto tako loš dizajn proizvoda koji zahtijeva suviše koraka obrade može prouzročiti nepotrebne komplikacije i smanjiti učinkovitost procesa.

2.2.5. Zalihe

Visoke zalihe se često povezuju s prekomjernom proizvodnjom, što rezultira akumulacijom "zamrznutog kapitala" u skladištima. Ovaj višak proizvodnje često proizlazi iz nedostatka usklađenosti između stvarne potražnje i proizvodnje, što dovodi do nepotrebnog zadržavanja proizvoda na zalihama. Osim što zauzimaju prostor i troše resurse za skladištenje, visoke zalihe mogu skrivati druge probleme u procesu, poput nepouzdana opskrbe ili slabog planiranja proizvodnje.

2.2.6. Nepotrebni pokreti

Loš raspored strojeva može rezultirati nepotrebnim kretanjem radnika, što povećava vremenski gubitak i smanjuje učinkovitost. Prisiljavanje ljudi na nepotrebno kretanje kako bi pristupili informacijama dodatno usporava procese, te utječe na gubitak dragocjenog vremena. Ručni rad često postaje neizbježan kako bi se kompenzirali nedostaci u procesu proizvodnje. To može dovesti do nepotrebnog trošenja resursa i smanjenja ukupne produktivnosti.

2.2.7. Škart

Suočavanje s problemom škarta, odnosno proizvoda koji ne zadovoljavaju standarde kvalitete, često dovodi do prekida toka procesa. Greške u proizvodnji izazivaju nepotrebna vremenska kašnjenja i gubitak resursa. Ovaj prekid toka ne samo da generira nepotrebne troškove, već zauzima i prostor za analizu i otklanjanje tih grešaka. Škart je često rezultat nepotpunih, netočnih ili nepravodobnih informacija koje se prenose unutar procesa. Nedostatak ispravnih informacija može dovesti do pogrešnih odluka i radnji, što opet povećava škart i remeti tijek procesa.[3]

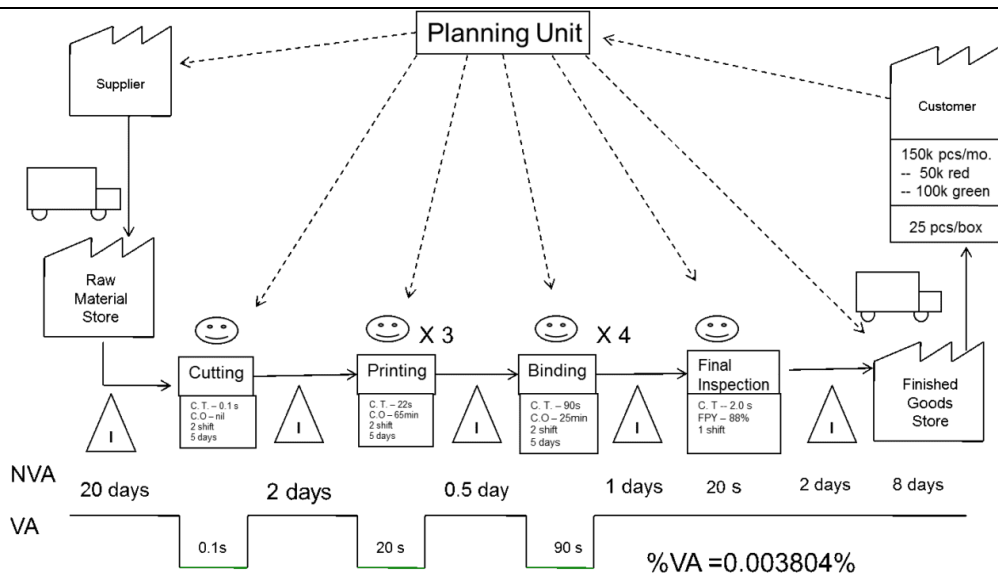
2.3. Lean alati

2.3.1. Mapiranje toka vrijednosti (eng. Value stream mapping)

VSM je tehnika koja se koristi za dijagnosticiranje, implementaciju i održavanje pomoću Lean pristupa. Njegova glavna svrha je identificirati mogućnosti za poboljšanja i eliminaciju otpada uz podršku operativnog osoblja. Ciljevi VSM-a obuhvaćaju praćenje protoka materijala u stvarnom vremenu, od sirovine do krajnjeg kupca (potrošača), te vizualizacija gubitaka u procesu, koristeći simbole za jasni prikaz procesa. VSM se izrađuje pomoću 7 koraka:

- dokumentacija trenutnog stanja procesa
- definiranje svakog koraka u procesu
- definiranje vrijednosti za kupca
- izrada sheme savršenog procesa
- detekcija procesa u trenutnom stanju koji ne pridonose vrijednosti, odnosno ne pripadaju shemi savršenog procesa
- optimizacija i promjena procesa iz točke 5) kako bi oni počeli pridonositi vrijednosti
- podjela zadatka i odgovornosti

Bitno je napomenuti da se ovaj alat ne koristi za otklanjanje gubitaka već za uočavanje istih. Iako je njegova tipična svrha eliminacija otpada, VSM se također može promatrati s aspekta dodavanja vrijednosti. Na kraju krajeva, to je ono što je važno za kupca. [4]



Slika 2. Primjer VSM dijagrama [5]

2.3.2. Kaizen

Kaizen je japanska poslovna filozofija kontinuiranog poboljšanja u svim aspektima organizacije, uključujući procese, proizvode, usluge i radne uvjete. Njegovo ime potječe iz japanskog jezika, gdje "kai" znači promjena, a "zen" znači mudrost, tako da Kaizen doslovno znači "mudrost promjene" ili "promjena prema boljem".

Glavni principi Kaizena uključuju:

- 1) timski rad
- 2) osobna disciplina
- 3) poboljšani moral
- 4) kvaliteta i zahtjevi za poboljšanje produktivnosti[3]

2.3.3. 5S metoda

5S metoda je organizacijska tehnika koja se koristi za poboljšanje radnih prostora i procesa. Naziv 5S dolazi od pet japanskih riječi koje opisuju svaku fazu ove metode. Koncept potiče iz Toyotinih pogona a glavni mu je cilj poboljšanje načina rada unutar tvornice ili bilo kakve druge organizacije.

Metoda se sastoji od sljedećih faza:

- 1) Sortiranje (*Seiri*) – eliminacija nepotrebnih stvari iz radnog okruženja
- 2) Red (*Seiton*) – spremanje preostalih stvari na odgovarajuća mjesta

- 3) Čišćenje (*Seiso*) – čišćenje radnog mjesta
- 4) Standardizacija (*Seiketsu*) – uspostava standardnih rutina i pretvaranje istih u navike
- 5) Samodisciplina (*Shisuke*) – održavanje reda i prilagodba novim uvjetima[3]

2.3.4. **DMAIC metoda (Define, Measure, Analyse, Improve, and Control)**

DMAIC metoda pripada skupini Lean alata te se koristi za upravljanje procesima, analizu problema i pronalazak rješenja za kontinuirana poboljšanja. Samo ime metode sadrži imena svakog koraka unutar iste.

D – Definiranje (eng. Define)

M – Mjerenje (eng. Measure)

A – Analiza (eng. Analyze)

I – Poboljšanje (eng. Improve)

C – Kontrola (eng. Control)

U nastavku će se detaljno pristupiti analizi svakog koraka DMAIC metode.

D – Definiranje

U prvom koraku DMAIC metode potrebno je definirati ciljeve, odrediti sve potrebne resurse te podijeliti zaduženja s obzirom na odgovornost i sposobnosti zaposlenika.

Definiranje ciljeva odvija se u ovim fazama:

- a) Definiranje potrebnih resursa i podjela zadataka prema odgovornosti
- b) Definiranje organizacijske strukture koja bi najlakše mogla pronaći rješenje zadanih problema
- c) Strukturiranje svih elemenata procesa i pronalazak problem te postavljanje okvirnog datuma završetka projekta
- d) Presentacija projekta upravi – odobrenje i podrška uprave za nastavak projekta

Cilj ovog koraka je provjera da li su akcije koje su potrebne za otklanjanju problema prioritet poduzeća, odnosno postoji li podrška rukovodstva/managementa, te da li poduzeće raspolaže resursima za provedbu plana. Prvi korak u analizi je definiranje problema kojeg je potrebno riješiti uz odobrenje vodstva. Vanjski čimbenici prva su stavka koju je potrebno analizirati te

Stadij mjerenja odnosi se na prikupljanje informacija o procesima koji će biti poboljšani. Fokusira se na informacije potrebne za bolje razumijevanje svih procesa u organizaciji, očekivanja kupaca, specifikacije dobavljača i identifikaciju mogućih mjesta gdje se problem može pojaviti. To se može postići izradom kartice procesa stvarne situacije i izvođenjem analize načina otkazivanja i učinaka koja će ukazati na mjesta mogućeg rizika. Glavno pitanje faze mjerenja je prikupiti i analizirati podatke koji će biti potrebni u fazi kontrole kako bi se prikazale razlike i procijenio napredak koji će biti predstavljen rukovodstvu/managementu. U koraku je bitno ocijeniti sustav mjerenja i osigurati da su svi podaci pouzdani te prikupljeni na odgovarajući način.

A – Analiza

U ovom koraku se provodi dubinska analiza prikupljenih podataka kako bi se identificirali uzroci problema ili varijacija u procesu. Analizu možemo raščlaniti na:

- a) Identifikacija ključnih razloga problema
- b) Usporedba trenutnog i željenog stanja
- c) Procjena količine resursa potrebnih za ostvarenje cilja
- d) Identifikacija mogućih problema u procesu

U fazi analize koriste se različiti alati i metode za pronalaženje korijenskih uzroka, procjenu rizika i analizu podataka. Kako bi se potvrdila analiza, trebaju se provesti uzorci i potrebno je dokazati da su potencijalni problemi stvarni problemi.

U ovoj fazi potrebno je definirati sposobnost procesa, razjasniti ciljeve na temelju stvarnih podataka dobivenih u fazi mjerenja i započeti analizu korijenskih uzroka koja utječe na varijabilnost procesa. Izračunavanjem sposobnosti procesa, koja je definirana kao "sigma" procesa, mjeri se sposobnost procesa da zadovolji zahtjeve kupaca. Sposobnost procesa bit će ključna točka za planirane poboljšanja. Bitan alata u koraku analize je Fishbone dijagram (riblja kost). Fishbone dijagram koristi se kao vizualni alat za identifikaciju i analizu potencijalnih uzroka problema. Struktura mu nalikuje kosturu ribe, pri čemu je glavni problem ili učinak smješten na "glavi", dok se potencijalni uzroci granaju poput kostiju. To pomaže timovima da identificiraju različite kategorije potencijalnih uzroka, olakšavajući proces brainstorminga i razumijevanje temeljnih poteškoća.

I – Poboljšanje

U ovom dijelu dolazi do poboljšanja procesa, implementacija promjena u slijedećim koracima:

- a) Priprema strukture podjele rada
- b) Razvijanje i testiranje mogućih rješenja; odabir najboljih
- c) Izrada plana realizacije

Cilj ove faze je prikupiti potrebne informacije kako bi se stvorio i razvio plan djelovanja radi poboljšanja funkcioniranja organizacije, financijskih aspekata i problema vezanih za odnos s kupcima. Prezentiraju se moguća rješenja te se nakon odobrenja od strane managementa ista provode. Provode se neke vrste pilot rješenja koja potvrđuju valjanost i preciznost analitičkog rada, a što omogućava izmjene prije nego što se rješenja primijene u cijeloj organizaciji.

C — Kontrola (upravljanje)

Zadnji korak se bavi održavanjem postignutih poboljšanja. Postavljaju se kontrolni mehanizmi kako bi se osiguralo da se proces ne vraća na stare probleme. Definišu se standardi, procedura i praćenje kako bi se promjene održavale na dugoročnoj osnovi.

Kontrola se provodi kroz iduće točke:

- a) Izrada dokumentacije plana standardizacije, poboljšanja praćenja procesa
- b) Potvrda poboljšanih procesa

Faza kontrole odnosi se na potvrdu jesu li promjene provedene u fazi poboljšanja dostatne i kontinuirane provjerom kvalitete poboljšanog procesa. Također se kontrolira buduće stanje procesa kako bi se smanjile odstupanja od ciljeva i osiguralo da se ispravke primjenjuju prije nego što bi imale negativan utjecaj na rezultate procesa.

Sustavi kontrole poput statističke kontrole procesa trebaju se implementirati, te se proces mora neprekidno pratiti. U fazi kontrole koriste se kontrolne karte kako bi se utvrdilo je li proces kontroliran ili nije.

Na kraju, DMAIC je okvir za rješavanje problema temeljen na podacima, usmjeren prema kupcima, te je strukturiran način rada koji se razvija na temelju učenja iz prethodnih faza kako bi se došlo do trajnih rješenja za teške probleme. Definiranje će reći vašem timu što treba mjeriti. Mjerenje će reći vašem timu što treba analizirati. Analiza će reći vašem timu što treba poboljšati. A poboljšanje će im reći što treba kontrolirati. [7]

2.3.5. PDCA metoda

PDCA je ciklus poboljšanja temeljen na znanstvenoj metodi predlaganja promjene u procesu, provođenju te promjene, mjerenju rezultata i poduzimanju odgovarajućih akcija. Poznat je i kao Demingov ciklus ili Demingov kotač, po W. Edwardsu Demingu, koji je koncept uveo u Japanu 1950-ih. Također je poznat kao PDSA, gdje "S" označava "studiju".

PDCA ciklus sastoji se od četiri faze:

Planiranje (*eng. Plan*) - određivanje ciljeva za proces i potrebnih promjena za njihovo postizanje. Izvođenje (*eng. Do*) - provođenje promjena.

Provjera (*eng. Check*) - evaluacija rezultata u smislu performansi.

Akcija (*eng. Act*) - standardizacija i stabilizacija promjene ili ponovno započinjanje ciklusa, ovisno o rezultatima. [9]

a) Planiranje

U središtu PDCA metode je sposobnost planiranja radnji na pravilan način. Potrebno je imati jasno definiran skup ciljeva koji se pokušavaju postići, te identificirati odgovarajući proces koji stoji iza postizanja svakog od tih ciljeva. Ovo je faza u kojoj se definiraju očekivanja rezultata nakon završetka implementacije PDCA metode. Svi detalji o konačnom stanju organizacije trebali bi biti što detaljnije navedeni u koraku planiranja. Potrebno je jasno definirati problem, prikupljati podatke i analizirati osnovne uzroke problema. Više od 50% ukupnog vremena trebalo bi biti iskorišteno za planiranje.

b) Izvođenje

U koraku izvođenja plan se iz koraka a) stavlja u akciju i svi njegovi elementi se potpuno implementiraju. Važno je slijediti izvorni plan do kraja, čak i ako se pokaže da postoji prostor za poboljšanje. Pronalaze se načini za brzu implementaciju rješenja, kako bi se brzo zaključilo je li planiranje bilo efikasno.

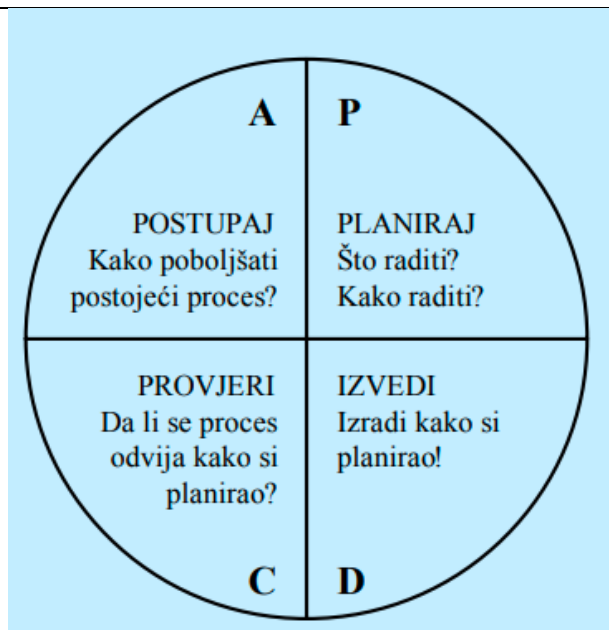
c) Provjera

Provjera je korak gdje se koriste podaci koje su prikupljeni u ranijim fazama metode. Korištenje svih podataka prikupljenih u analizi i kombinacija s podacima iz točaka a) i b) trebalo bi dati informaciju dolazi li do pozitivne promjene u procesu. Analiza rezultata implementacije PDCA metode jednako je važna kao i ispravna implementacija prva dva koraka. Ponekad se ovaj korak naziva „Study“ i proces poprima ime PDSA.

d) Akcija

Ako se analizom dobivenih rezultata dođe do zaključka da postoji jasno poboljšanje u operacijama poduzeća nakon implementacije PDCA, implementirana promjena se nastavlja provoditi u daljnjem radu poduzeća. Ono što je naučeno iz eksperimenata s PDCA treba implementirati u standardnu operativnu rutinu poduzeća. PDCA bi trebala biti norma za izvođenje stvari, osim ako, naravno, poduzeće ne naiđe na drugi problem u budućnosti. U tom slučaju se može lako provesti još jedna iteracija PDCA metode i ponovno poboljšati situaciju.

PDCA je bitan dio filozofije lean proizvodnje i ključan preduvjet za kontinuirano poboljšanje ljudi i procesa. Model Plan-Do-Check-Act uključuje testiranje rješenja, analizu rezultata i poboljšanje procesa. Ova metodologija potiče poduzeća da budu agilnije i odgovaraju promjenama u okolini, čime postaju konkurentne i usmjerene prema budućnosti.



Slika 4 PDCA ciklus[10]

Analiza problema poduzeća vršiti će se pomoću PDCA i DMAIC metoda. U točkama 2.3.4. i 2.3.5. detaljno su opisani koraci istih. Sama analiza procesa koristit će faktore iz obje navedenih metoda te će se isti prilagoditi trenutnom problemu i formatu ovog završnog rada.

Koraci kroz koje će se provoditi PDCA i DMAIC metode su:

1. Snimanje trenutnog stanja u poduzeću
2. Pronalazak problema, detaljna analiza problema
3. Prijedlog rješenja
- 4.* Implementacija rješenja te analiza

Točka 4.* sagledati će se na drugačiji način jer se predložena rješenja neće moći implementirati u tako kratkom vremenskom periodu.

3. OPIS TRENUTNOG STANJA U PODUZEĆU

Ime poduzeća ostat će neotkriveno te će se u daljnjem tekstu koristiti općeniti naziv „Poduzeće“.

Poduzeće je osnovano 1991. godine u Zagrebu. Poduzeće se bavi sa izvođenjem, puštanjem u pogon, održavanjem i projektiranjem instalacija klimatizacije, grijanja, ventilacije, hladnjača, energana, razvoda plinova i tekućina, sustava medicinskih plinova, te automatske regulacije. Navedene instalacije izvode se u poslovnim, stambenim, industrijskim objektima i bolnicama. Sve navedene radove izvode iskusni strojarški i elektro inženjeri i tehničari te visokokvalificirani monter. Tvrtka je opremljena suvremenim alatima, aparatima i mjernim instrumentima potrebnim za različite aspekte njihovih usluga. Poduzeće zapošljava obučene servisere koji su stručno osposobljeni za puštanje u pogon, održavanje i popravak uređaja.

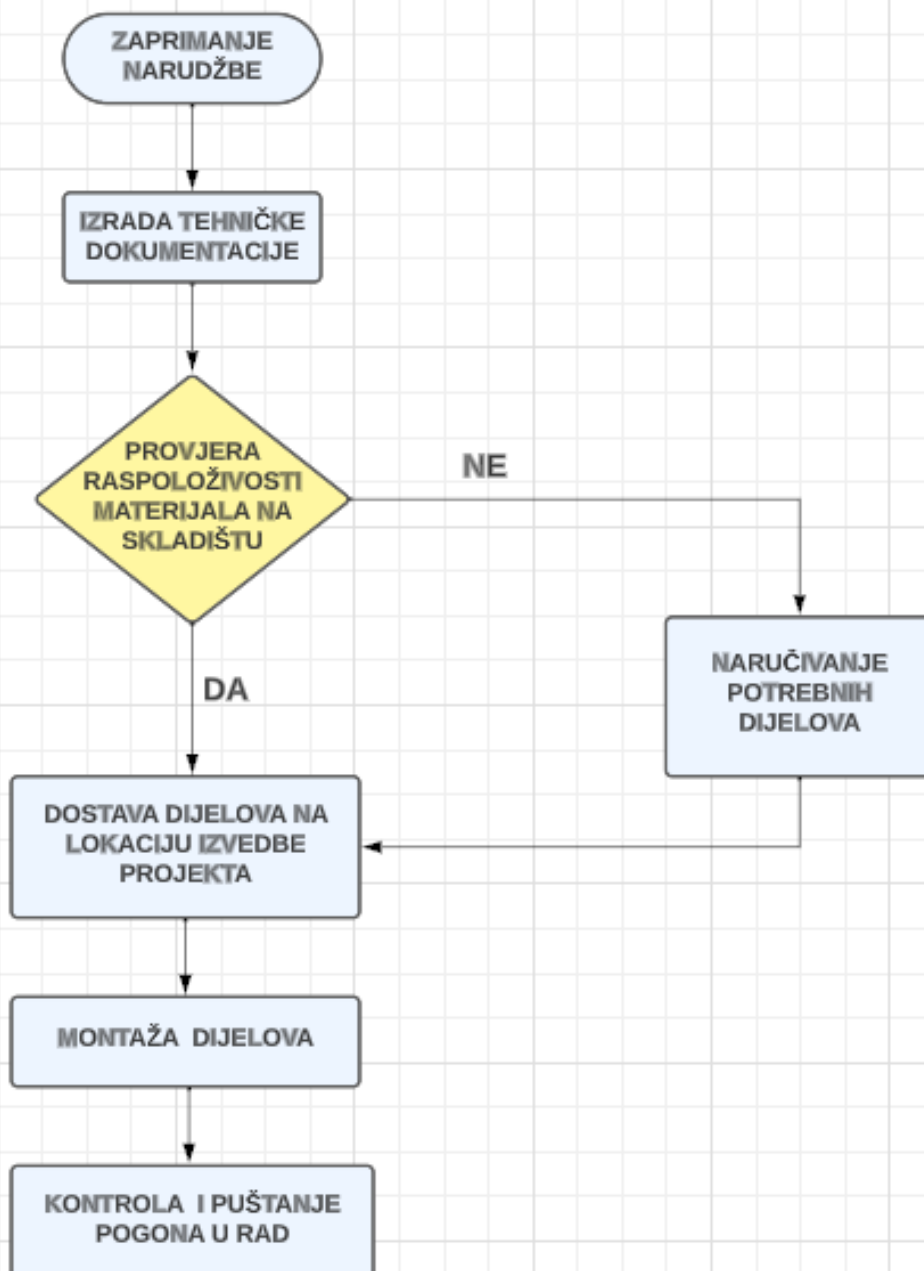
Poduzeće se trenutno nalazi na lokaciji gdje nije moguće održavati vlastiti proizvodni pogon, stoga se oslanja na pristup naručivanja materijala i dijelova izravno na gradilište. Ova specifična situacija čini poduzeće ovisnim ne samo o svojim internim procesima, već i o dobavljačima. Poduzeće je smješteno u prostore koji nisu u potpunosti adekvatni već su prostori prilagođeni, a sastoji se od četiri razine (kata). Na najnižem katu, nalazi se većina skladišnog prostora i radionica za zaposlene koji su izravno uključeni u izvođenje radova. Ovdje se čuvaju materijali, alati i oprema potrebna za izvođenje različitih projekata. Na 4. katu smještene su uredske prostorije. To su radni prostori projekatata, rukovodstva i ostalih zaposlenika koji su uključeni u upravljanje i koordinaciju poslovnih procesa.

Svaki proces u ovom poduzeću započinje zahtjevom od strane klijenta. Klijent pokreće postupak šaljući upit na službenu e-mail adresu poduzeća, pružajući što precizniji i detaljniji opis projekta ili usluge koju traži. Nakon primitka zahtjeva, slijedi proces odobrenja i evaluacije. U ovom koraku, projektant započinje izradu tehničke dokumentacije i planova kako bi se precizno definirali parametri i zahtjevi projekta.

Budući da poduzeće trenutno ne posjeduje vlastiti proizvodni pogon, proces proizvodnje dijelova se ne odvija interno. Umjesto toga, poduzeće naručuje potrebne dijelove i materijale od vanjskih dobavljača. Na temelju rasporeda isporuke, određuje se datum izvođenja radova, a nakon završetka projekta, višak materijala se skladišti unutar vlastitih prostora.

Unatoč brojnim prednostima ovog modela, kao što je fleksibilnost i smanjenje troškova proizvodnje, postoje i određeni izazovi.

Najveći izazov je neorganizirano skladište koje nema sustavno označene lokacije za skladištenje dijelova. Materijali su raspoređeni po skladištu bez preciznog rasporeda, što otežava pronalazak i izuzimanje željenih materijala i rezultira kašnjenjima u procesu. Analizom ovih aspekata, može se prepoznati da postoji potreba za optimizacijom procesa i boljom organizacijom skladišta kako bi se smanjila kašnjenja i povećala efikasnost cijelog poslovnog modela poduzeća.



Slika 5. Dijagram toka materijala poduzeća

3.1. Opis problema nedovoljno dobro organiziranog skladišta

Prilikom analize cjelokupnog procesa, dolazi se do zaključka kako uz mnogobrojne prednosti narudžbe dijelova izravno na mjesto radova postoji veliki problem u organizaciji preostalih materijala. U odabranim projektima koji su analizirani ne dolazi do problema u niti jednom drugom aspektu. Naravno, veličina ispitnog uzorka nije velika, no dovoljna je za dobivanje generalne slike, s naznakom da su zaključci ipak bazirani na specifičnom uzorku. Prilikom izvedbe projekta, poduzeće prvo kontaktira dobavljača te se tek nakon povratne informacije određuje točan datum izvedbe. Radovi na montaži često generiraju mala odstupanja od zadanog vremenskog okvira najčešće zbog ljudske pogreške ili neočekivanih uvjeta. Iako prisutne, mala odstupanja ne oduzimaju značajnu količinu vremena prema vremenu izgubljenom u procesu prilikom izuzimanja dijelova iz skladišta. Vrijeme izuzimanja iz skladišta variralo je iz projekta u projekt. Potrebno vrijeme pronalaska dijelova ovisi o tome koliko je dijelova ukupno potrebno te koliko je tih dijelova naručeno izravno na mjesto radova, te koliko ih se mora dopremiti iz skladišta. Primjerice, prilikom instalacije dvaju gotovo istih ventilacijskih sustava, kašnjenje u izlasku materijala i radnika iz skladišta razlikovalo se za 45 minuta. U prvom slučaju ventili za regulaciju i zatvaranje bili su dostavljeni na gradilište te su radovi tekli prema planu. Nakon radova višak materijala transportirao se nazad u prostore poduzeća te se pohranio u prostorije skladišta. U višku materijala preostaje nekoliko ventila i cijevi od prethodne instalacije. Nekoliko tjedana kasnije kreće se sa sličnim projektom na drugoj lokaciji. Kako je poznato da poduzeće u svojem skladištu ima pohranjeno dovoljno materijala, ventila i cijevi u ovom slučaju, od prijašnjih projekata, naručuju se samo oni dijelovi kojih nema dovoljno. Naručeni materijal dolazi na mjesto radova u dogovoreno vrijeme, ali dolazi do kašnjenja u izuzimanju dijelova iz skladišta. Prilikom potrage za preostalim dijelovima najviše dolazi do izražaja neorganiziranost skladišta. Sama potraga za nekim dijelovima traje u prosjeku oko 50 minuta ne uključujući vrijeme za utovar i transport.



Slika 6. Neorganiziranost skladišnog prostora potrošnog i sitnog materijala



Slika 7. Dio skladišta gdje se skladište cijevi različitih materijala i dimenzija



Slika 8. Dio skladišta gdje je uskladišten izolacijski materijal

4. KVANTIFIKACIJA i ANALIZA VREMENA IZUZIMANJA PROIZVODA

Vrijeme je mjereno za 10 različitih projekata, te su predmeti koji se izuzimaju iz skladišta podijeljeni u 3 skupine prema učestalosti korištenja.

Tablica 1. Udio dijelova iz svake skupine u svim projektima

A	B	C
63,7%	24,2%	12,1%

Udio izuzimanja naveden iz Tablice 1. izračunat je nakon analize svih deset projekata.

Skupina A (najčešće korišteni proizvodi):

- Plinske cijevi
- Cijevni spojevi
- Razni vezivni dijelovi (vijci, matice, osovine...)

Skupina B (srednja korištenost):

- Regulatori tlaka
- Ventili
- Kompresori

Skupina C (najmanje korišteni proizvodi)

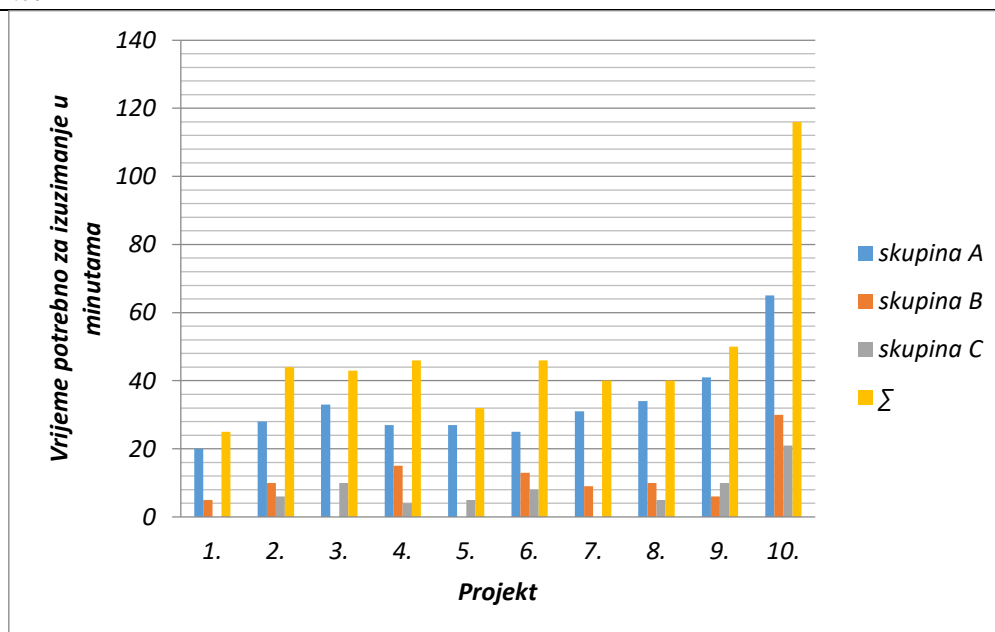
- Dijelovi za hladnjače
- Grijači vode
- Plinske pumpe

Radi lakšeg pregleda prilikom izuzimanja predmeta iz pojedine skupine, predmeti će se označavati sa slovom iz koje skupine pripada. U Tablici 1. Prikazana su izmjerena vremena dijelova podijeljena u tri skupine. Skupinu A čine proizvodi koji se najčešće koriste u projektima, a samim tim i imaju najveću frekvenciju izuzimanja. Skupinu B čine manje zastupljeni dijelovi dok skupinu C čine dijelovi koji se rijetko koriste.

Tablica 2. Vrijeme potrebno za izuzimanje dijelova po kategorijam

Vrijeme za izuzimanje dijelova u minutama				
Redni broj projekta	skupina A	skupina B	skupina C	Σ
1.	20	5	0	25
2.	28	10	6	44
3.	33	0	10	43
4.	27	15	4	46
5.	27	0	5	32
6.	25	13	8	46
7.	31	9	0	40
8.	34	10	5	40
9.	41	6	10	50
10.	65	30	21	116

Statistička analiza vremena provodi se računanjem statističkih parametara položaja i varijacije kao što su aritmetička sredina, standardna devijacija, varijanca, te analiza raspodjele podataka, a u svrhu preciznije procjene za koju skupinu dijelova je potrebno najdulje vrijeme izuzimanja. Kao pomoć za računanje i izradu grafova koriste se programi Microsoft Excel i EasyFit. Detaljna analiza provodi na vremenu izuzimanja iz skupine A jer se ti dijelovi najviše koriste.



Slika 9. Prikaz vremena izuzimanja po kategorijama i projektima

4.1. Računanje parametara položaja - aritmetička sredina trajanja izuzimanja

U tablici 3. je prikazan izračun aritmetičke sredine trajanja izuzimanja dijelova iz svake pojedine grupe kao i prosječno vrijeme izuzimanja dijelova iz sve tri grupe. Aritmetička sredina se računa prema formuli:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} \quad (1)$$

Tablica 3. Prosječna vremena izuzimanja dijelova po kategorijama u minutama

Prosječna vrijednost izuzimanja skupine A	33,1
Prosječna vrijednost izuzimanja skupine B	9,8
Prosječna vrijednost izuzimanja skupine C	6,9
Prosječna ukupna vrijednost izuzimanja A+B+C	48,2

4.2. Izračun parametara varijacije

Standardna devijacija vremena izuzimanja:

Standardna devijacija označava prosječno odstupanje svakog podatka od aritmetičke sredine. Izrazom (2) prikazana je formula za računanje standardne devijacije. U tablici 5.3. prikazane su vrijednosti standardne devijacije prosječnih vremena izuzimanja predmeta iz svih skupina za svih 10 projekata. Manja odstupanja od aritmetičke sredine imaju dijelovi iz skupine B i C što ima smisla jer se oni manje koriste.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (2)$$

Koeficijent varijacije:

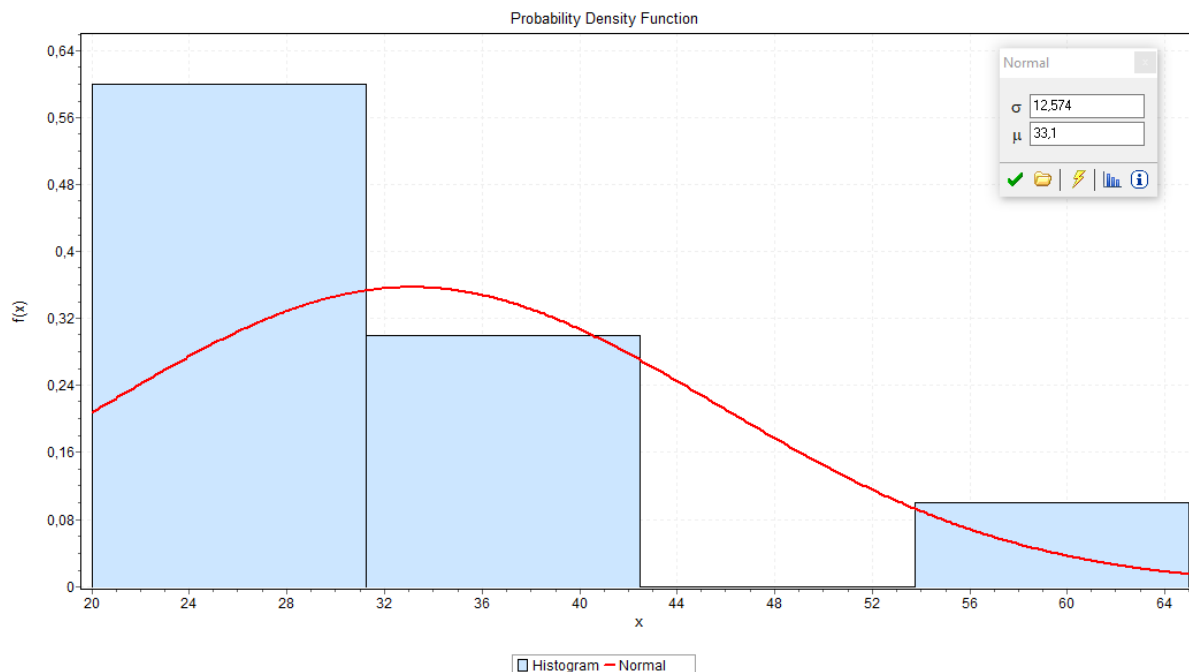
Koeficijent varijacije statistička je mjera koja nas informira o relativnoj disperziji skupa podataka. Koeficijent varijacije računa se kao količnik standardne devijacije i aritmetičke sredine. Koeficijent varijacije se izražava se u postocima pa se dobiveni broj mora pomnožiti s 100 kao što je to prikazao u izrazu 5.3. U tablici 5.3. navedeni su koeficijent varijacije za svaku pojedinu grupu te za ukupno vrijeme izuzimanja dijelova iz svih grupa.

$$V = (\sigma \div \bar{x}) \times 100 \quad (3)$$

Tablica 4. Izračun standardne devijacije i koeficijent varijacije

skupina	σ , min	V,%
A	12,57	37,99
B	8,66	85,78
C	6,06	87,88
A+B+C	24,92	50,04

Normalnost distribuiranih podataka



Slika 10. Prikaz prilagodbe normalne distribucije podacima o vremenu izuzimanja za skupinu A u minutama

Prilikom obrade statističkih podataka prikupljenih u prijašnjim točkama potrebno je pretpostaviti normalnu distribuciju uzorka. Korištenjem normalne distribucije omogućava se generalizacija rezultata ponašanja uzorka na širem skupu te se na temelju nje donose precizniji zaključci. Prema središnjem graničnom teoremu, čak i ako populacija nema normalnu distribuciju, distribucija srednjih vrijednosti uzoraka će postati sve više normalna kako se povećava broj uzoraka. Što je broj uzoraka veći, to će se distribucija srednjih vrijednosti uzoraka više približavati normalnoj distribuciji. Normalna distribucija karakterizirana je simetrijom i oblikom zvona. Iz slike 10 i izračunatih podataka iz tablice 5. zaključuje se kako distribucija nije simetrična, nego da mjera distribucije teži pozitivnoj asimetriji. Pozitivna asimetrija označava da je rep distribucije, ekstremni desni izlaz, duži i tanji od lijevog repa. To znači da se veći dio podataka nalazi s lijeve strane središnje vrijednosti (medijana), dok desni rep sadrži nekoliko ekstremnih vrijednosti koje su znatno veće od vrijednosti medijana. Koeficijent spljoštenosti iznosi 2,067, što je veće od 0 te ukazuje na to da razdioba ima izrazito spljoštene vrhove. Težište podataka koncentrirano je oko srednje vrijednosti s ekstremnim vrijednostima koje znatno odstupaju od srednjeg

položaja. Navedeni podaci sugeriraju prisutnost značajnije spljoštenost, što sugerira prisutnost većeg rasipanja. Koeficijent asimetrije iznosi 0,364 te ukazuje na pozitivnu asimetriju. Razdioba je nagnuta prema lijevoj strani što govori da su procesu prisutne ekstremne vrijednosti koje povlače prosječnu (aritm.sredinu) vrijednost u desno.

Tablica 5. Medijan, koeficijent asimetrije i spljoštenosti podataka za skupinu A

Medijan	29,5 min
Koeficijent asimetrije (α_3)	0,364
Koeficijent spljoštenosti (α_4)	2,067

4.3. Intervalna procjena očekivane vrijednosti osnovnog vremena izuzimanja

Nakon detaljne statističke analize vremena potrebnoga za izuzimanje dijelova iz skladišta slijedi stvaranje intervala povjerenja s 95% sigurnosti oko osnovnog vremena. Ovaj interval povjerenja pomaže u boljem razumijevanju raspona vremenskih parametara u osnovnoj populaciji na temelju uzorka. Kako bismo dobili interval povjerenja s 95% sigurnosti koristimo određene statističke metode ovisno o veličini uzorka i dostupnim podacima o standardnoj devijaciji. Ako je veličina uzorka veća od 30, koristi se normalna distribucija zbog svoje približne normalnosti prema središnjem graničnom teoremu. Ako je veličina uzorka manja od 30, koristi se Studentova t-distribucija. U slučaju kada je poznata standardna devijacija osnovnog uzorka, moguće je koristiti normalnu distribuciju čak i za manje uzorke. Ovaj pristup omogućuje stvaranje intervala povjerenja oko procijenjenog vremena za izuzimanje dijelova iz skladišta s visokim stupnjem povjerenja od 95 posto. Interval procjene očekivanog osnovnog vremena računa se prema formuli (4).

$$IP = \bar{x} \pm t \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Tablica 6. Veličine potrebna za izračun Intervala povjerenja očekivanja vremena izuzimanja u minutama za skupinu A

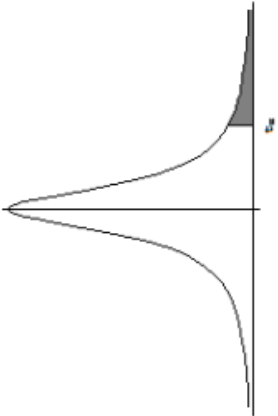
Veličina uzorka	10
Aritmetička sredina	33,1
Standardna devijacija	12,57
t(95%)	2,262

Nakon provođenja izračuna prema formuli (4). dobiveni interval se nalazi između 24,11 i 42,09 minuta uz 95% povjerenja.(5)

$$24,11 < IP < 42,09 \text{ uz } P=0,95$$

(5)

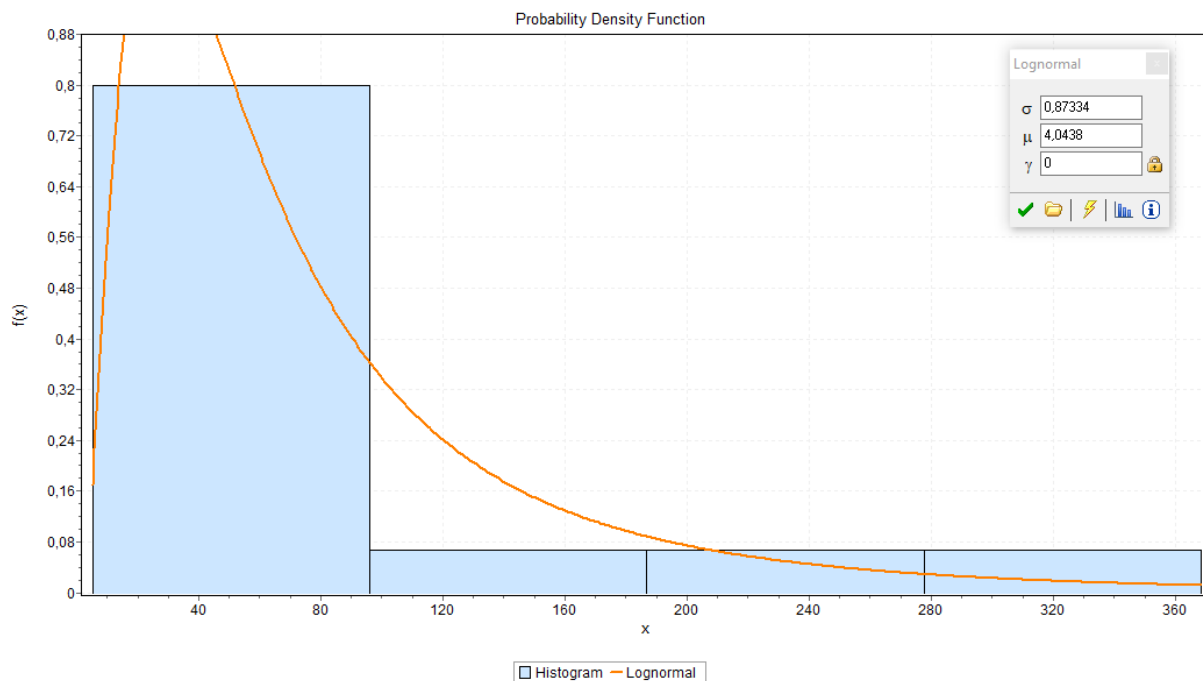
Tablica kvantila Studentove t-razdiobe



m	α	0.1	0.05	0.025	0.0125	0.01	0.005	0.0025	0.0015	0.001	0.0005
1		3.0777	6.3138	12.7062	25.4517	31.8205	63.6567	127.3213	212.2050	318.3088	636.6192
2		1.8856	2.9200	4.3027	6.2053	6.9646	9.9248	14.0890	18.2163	22.3271	31.5991
3		1.6377	2.3534	3.1824	4.1765	4.5407	5.8409	7.4533	8.8915	10.2145	12.9240
4		1.5332	2.1318	2.7764	3.4954	3.7469	4.6041	5.5976	6.4348	7.1732	8.6103
5		1.4759	2.0150	2.5706	3.1634	3.3649	4.0321	4.7733	5.3760	5.89343	6.8688
6		1.4398	1.9432	2.4469	2.9687	3.1427	3.7074	4.3168	4.8002	5.2076	5.9588
7		1.4149	1.8946	2.3646	2.8412	2.9980	3.4995	4.0293	4.4421	4.7853	5.4079
8		1.3968	1.8595	2.3060	2.7515	2.8965	3.3554	3.8325	4.1991	4.5008	5.0413
9		1.3830	1.8331	2.2622	2.6850	2.8214	3.2498	3.6897	4.0240	4.2968	4.7809
10		1.3722	1.8125	2.2281	2.6338	2.7638	3.1693	3.5814	3.8920	4.1437	4.5869
11		1.3634	1.7959	2.2010	2.5931	2.71808	3.1058	3.4966	3.7890	4.0247	4.4370
12		1.3562	1.7823	2.1788	2.5600	2.6810	3.0545	3.4284	3.7065	3.9296	4.3178
13		1.3502	1.7709	2.1604	2.5326	2.6503	3.0123	3.3725	3.6389	3.8520	4.2208
14		1.3450	1.7613	2.1448	2.5096	2.6245	2.9768	3.3257	3.5827	3.7874	4.1405

Slika 11. Studentova t razdioba [11]

Kao što je moguće vidjeti u dijagramu prilagodbe normalne razdiobe (Slika 11.) pojavljuje dulji rep s većim vrijednostima na desnoj strani, stoga za daljnju analizu koristit će se lognormalna razdioba umjesto normalne.



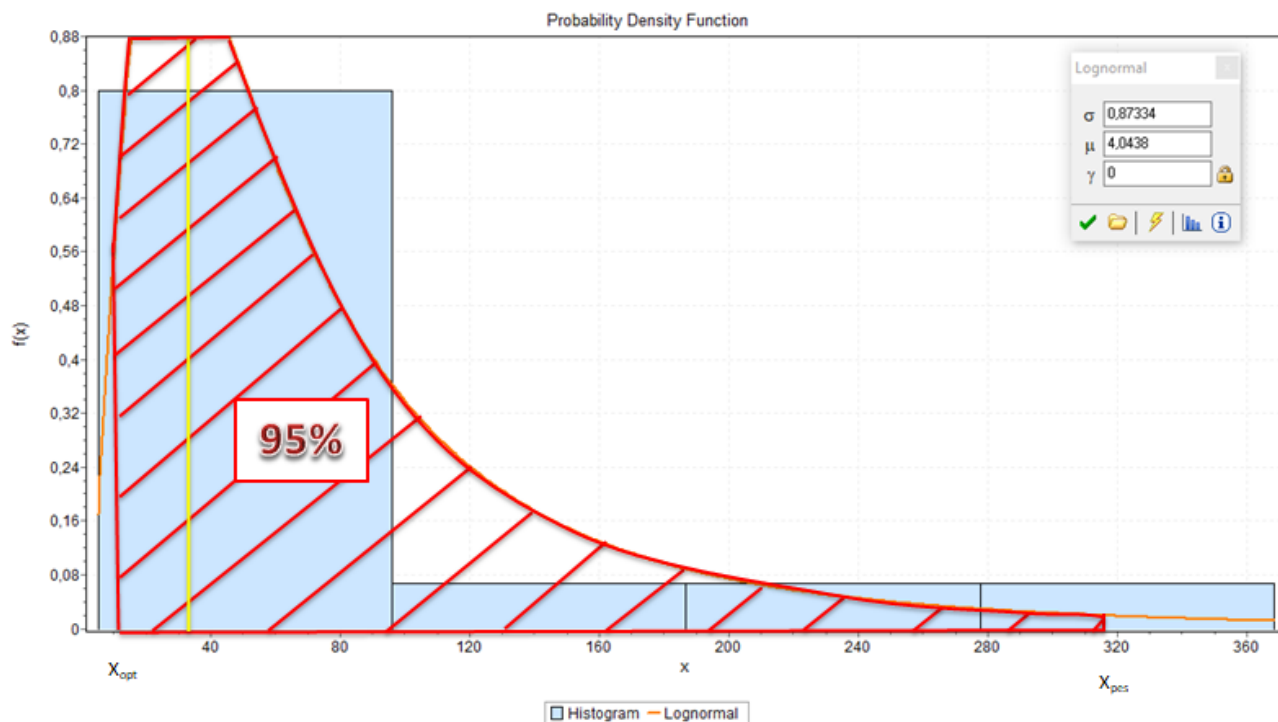
Slika 12. Prilagodba lognormalne distribucije podacima iz skupine A

Nakon ispitivanja funkcije u programu EasyFit, nove vrijednosti navedene su u tablici 7.

Tablica 7. Očekivanje i standardna devijacija uzorka podataka

σ	0,8733
μ	4,0438

Nakon očitavanja novih vrijednosti potrebno je izračunati „optimistično“ i „pesimistično“ vrijeme izuzimanja dijelova iz skupine A prilikom lognormalne distribucije.



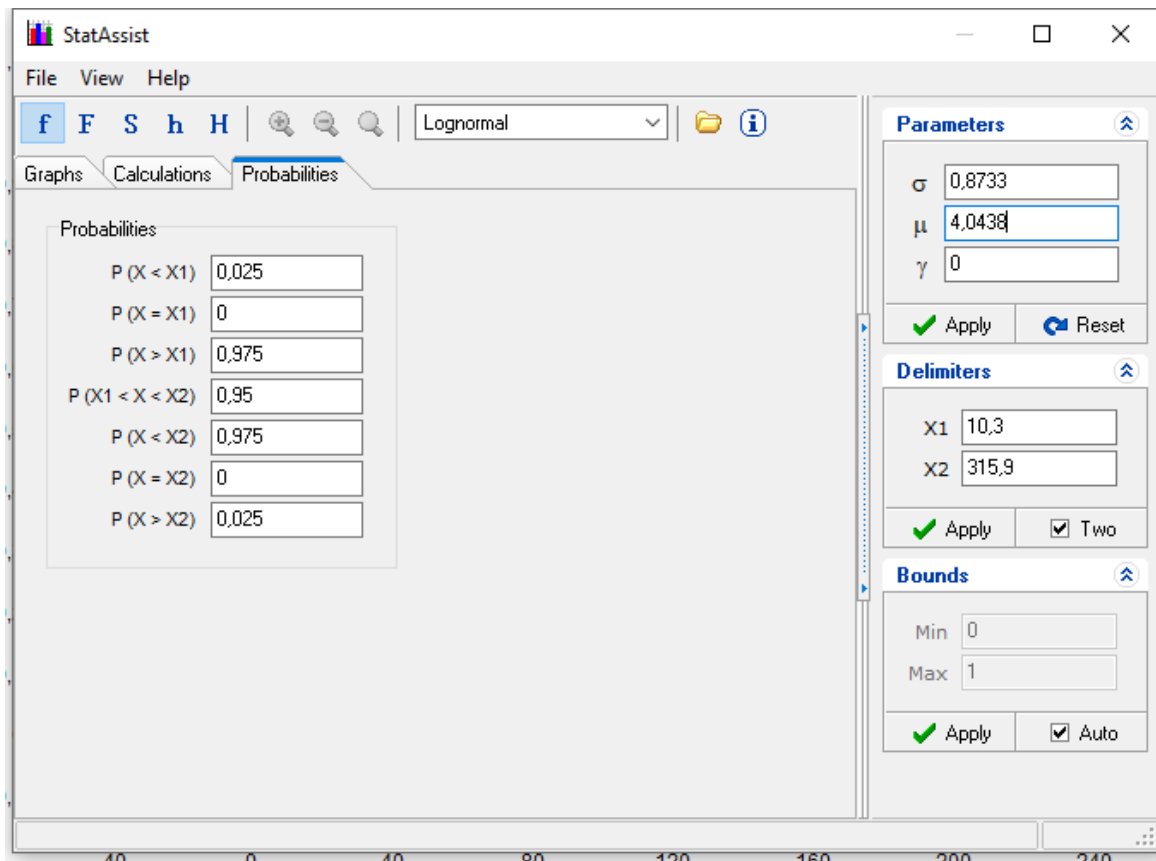
Slika 13. Lognormalna razdioba skupine A s pouzdanosti 95%

Iz prikaza lognormalne distribucije na slici 13. očitavamo X_{opt} i X_{pes} koji predstavljaju interval između najbržeg i najspornijeg vremena izuzimanja dijela iz skupine A.

Očitane vrijednosti:

$$X_{opt} = 10,3 \text{ min}$$

$$X_{pes} = 315,9 \text{ min}$$



Slika 14. Podaci za skupinu A izračunati u aplikaciji EasyFit

Nakon grafičke analize, rezultat se kontrolira pomoću opcije u aplikaciji EasyFit. Podaci očitani u grafičkom dijelu podudaraju se s onima u analitičkom dijelu stoga se dolazi do zaključka da je analiza uspješno provedena. Izračunate vrijednosti predstavljaju ekstreme u slučaju izdvajanja dijelova skupine A. Poduzeću je cilj približiti se „optimističnom“ vremenu izuzimanja implementacijom promjena u radu.

5. PRIJEDLOG ZA POBOLJŠANJE PROCESA

Kako bi se ostvarilo „optimistično“ vrijeme iz točke 4. Potrebno je promijeniti način izvođenja pojedinih segmenata unutar poduzeća. Prvi prijedlog za optimizaciju vremena, a samim time i procesa je uvođenje ABC principa pri organizaciji skladišta.

5.1. ABC princip

Metoda upravljanja zalihama ABC vuče korijene iz tzv. pravila 80/20 ili Pareto principa, koji tvrdi da 80% ishoda proizlazi iz 20% svih uzoraka za bilo koji događaj. Primjenjujući pravilo 80/20 na kontekst poduzeća, znači da 20% ukupnih referenci generira 80% profita. Proširujući Pareto princip na područje logistike, to bi značilo da u skladištu otprilike 20% referenci proizvodi 80% aktivnosti u skladištu, kao i prihoda tvrtke. Mogu se koristiti različiti kriteriji za klasificiranje i prioritiziranje ključnog dijela robe, uzimajući u obzir specifične karakteristike svakog poduzeća. Metoda ABC klasifikacije koristi Pareto princip za razvrstavanje robe u skladištu u tri kategorije (A, B i C) na temelju njihove važnosti prema odabranim kriterijima. Kao posljedica toga, više resursa se dodjeljuje ključnim referencama za tvrtku, posebno onima u grupi A.

5.1.1. Kategorija A

Prema ABC sustavu, referencije kategorije A smatraju se najvažnijima za poduzeće. Oni čine otprilike 20% ukupne zalihe, ali sudjeluju u većini aktivnosti u skladištu. Nadalje, čine otprilike 80% prihoda tvrtke. Kao prioritarna kategorija, tvrtka mora dodijeliti više resursa kako bi provodila sveobuhvatne i složene kontrole zaliha na redovitoj i često osnovi. Bilo koji problem s inventarom koji se odnosi na proizvode kategorije A, poput nedostatka ili iscrpljenosti, može rezultirati značajnim gubicima za poduzeće. U ABC modelu, proizvodi kategorije A trebaju se nalaziti u lako dostupnim područjima blizu zone za otpremu kako bi se ubrzao postupak pripreme narudžbi. Važno je to uzeti u obzir prilikom definiranja rasporeda skladišta i učinkovite organizacije zaliha. Proizvodi u ovoj kategoriji mogu se pohraniti u sustavima za pohranu koji pružaju brz i izravan pristup jediničnim opterećenjima ili, kad je primjenjivo, u automatiziranim sustavima za pohranu kako bi se optimizirala vremena utovara i istovara robe.

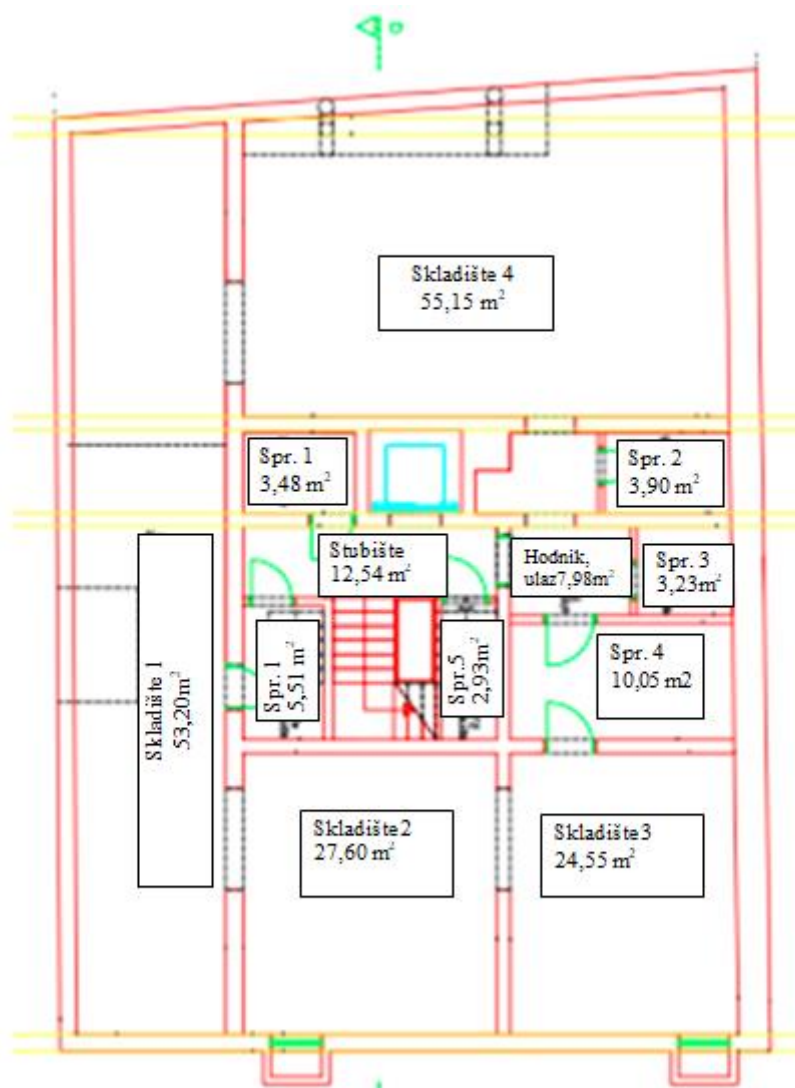
5.1.2. **Kategorija B**

Proizvodi koji su kategorizirani kao B u ABC klasifikaciji smatraju se proizvodima umjerenog značaja i rotacije za poduzeće. Obično čine oko 30% ukupnog broja proizvoda u skladištu i obično generiraju više od 20% prihoda tvrtke. Kao srednja kategorija između A i C, status svake reference trebao bi se redovito pregledavati, uz razmatranje mogućnosti reklasificiranja reference kao A ili C u budućnosti. Kontrola zaliha u ovoj kategoriji proizvoda također bi trebala biti redovito pregledavana, iako manje često nego proizvodi kategorije A, koji će preuzeti veći dio opterećenja u skladištu. Ovi proizvodi bit će smješteni na najpristupačnijim i najizravnijim mjestima u skladištu, nakon što se prvo organiziraju i rezerviraju najbolje lokacije za reference kategorije A. Općenito, proizvodi kategorije B pohranjuju se na srednje razine gdje je pristup brz, iako ne nužno izravan za sva jedinična opterećenja.

5.1.3. **Kategorija C**

Mogu činiti više od 50% referenci proizvoda, ali u pogledu prihoda ne čine niti 5% ukupnog iznosa. Rotacija ovih proizvoda u skladištu bit će vrlo niska, budući da su manje tražene reference i stoga proizvodi kojima bi trebalo dodijeliti minimalne resurse. Kontrola zaliha može biti sporadična i koristiti jednostavne metode, dovoljne za izbjegavanje problema s zastari ili istekom, a proizvodi će se smjestiti u skladištu na udaljenim mjestima od područja isporuke te na višim ili manje dostupnim razinama. Potrebno je provesti procjenu referenci kategorije C kako biste vidjeli isplati li se dodjeljivati tvrtkinim resursima njihovo skladištenje i zalihe, budući da troškovi koji proizlaze iz njihova skladištenja mogu na kraju biti veći od dobiti ostvarene njihovom prodajom.[12]

5.1.4. Implementacija ABC pristupa u odabranom poduzeću



Slika 15. Tlocrt postojećeg skladišnog prostora poduzeća

Na slici 15. prikazana je najniža razina Poduzeća koje ujedno služi i kao skladište. Kao što je prikazano na slikama 6., 7., 8., preostali dijelovi nakon izuzimanja vraćaju se u skladište bez organiziranog rasporeda. Pomoću ABC metode, dijelovi su grupirani prema učestalosti izuzimanja dijelova iz skladišta. Klasifikacija pojedinih dijelova te njihova podjela napravljena je u točki 5. Prilikom snimanja procesa zapaženo je kako radnik prilikom traženja materijala za jedan proces najčešće mora ući u većinu prostorija skladišta zbog neorganiziranosti. Oznakama „Spr.“ označena su spremišta koja se koriste za pohranu dijelova te pohranu alata i stvari radnika.

ovu metodu na odabrano poduzeće jer sam tlocrt poduzeća ne ide u korist metodi. Poduzeće je puno malih prostorija koje nisu pogodne za dobar raspored dijelova i materijala.

5.2. Uvođenje MRP i WMS sustava u poduzeće

MRP (Materials Requirements Planning):

MRP je softverski alat pomoću kojeg se planira proizvodnja unutar poduzeća. Sustav se uvodi kako bi se povećala produktivnost poduzeća, povećalo zadovoljstvo kupca i olakšao proces proizvodnje. Pomoću MRP-a, odabiru se potrebni materijali, procjenjuju količine materijala te organizira dostupnost materijala kako ne bi došlo do kašnjenja u sustavu.

MRP se može svesti na tri koraka:

- a) Definiranje proizvodnje
- b) Kvantifikacija potražnje
- c) Utvrđivanje ponude

Prvi korak u procesu planiranja pomoću MRP sustava je precizno definiranje konačnog proizvoda i izrada BOM-a (*eng. Bill of Materials.*). BOM predstavlja popis materijala i komponenti potrebnih za svaku jedinicu proizvoda. Idući korak u planiranju je kvantifikacija proizvoda. Potrebno je odrediti točnu količinu konačnih proizvoda kako bi potražnja bila zadovoljena. Ovaj korak se temelji na narudžbi kupaca i prognozi prodaje. Koristeći podatke iz BOM-a, sustav kao posljednji korak izrađuje plan akcija potrebnih za proizvodnju i nabavu materijala unutar zadanog vremenskog okvira. Izrada plana uzima u obzir i trenutno stanje na skladištu odnosno zalihama.



Slika 17. Shema MRP sustava[13]

WMS ("Warehouse Management System")

WSM je softverski sustav koji se koristi za učinkovito upravljanje operacijama unutar skladišta. Uloga mu je praćenje inventara prilikom ulaska, tijekom obrade i izlaska materijala iz skladišta. Pomoću WMS-a detaljno se prati količina zaliha kako ne bi došlo do nepravilnosti u procesu. Lakše praćenje unutar sustava osigurano je skeniranjem bar-kodova koji se nalaze na svakom dijelu. Uz pomoć mobilnih i internetskih aplikacija, dijelovi se brzo očitavaju i klasificiraju po kategorijama. WSM pomaže u iskoristivosti skladišnog prostora koristeći razne metode. Jedna od najčešće korištenih metoda je ABC metoda koja je detaljno opisana u točki 5.1. Takav pristup osigurava bolju organizaciju skladišta i učinkovitije prostorno planiranje. Također, WSM pomaže u odabiru putanja kretanja materijala, smanjujući potrebno vrijeme i resurse za pripremi narudžbi. Sveukupno, Warehouse Management System je ključna komponenta za optimizaciju i učinkovito upravljanje skladištem, osiguravajući bolje upravljanje zalihama, brže procese i smanjenje operativnih pogrešaka u skladištu.[14]

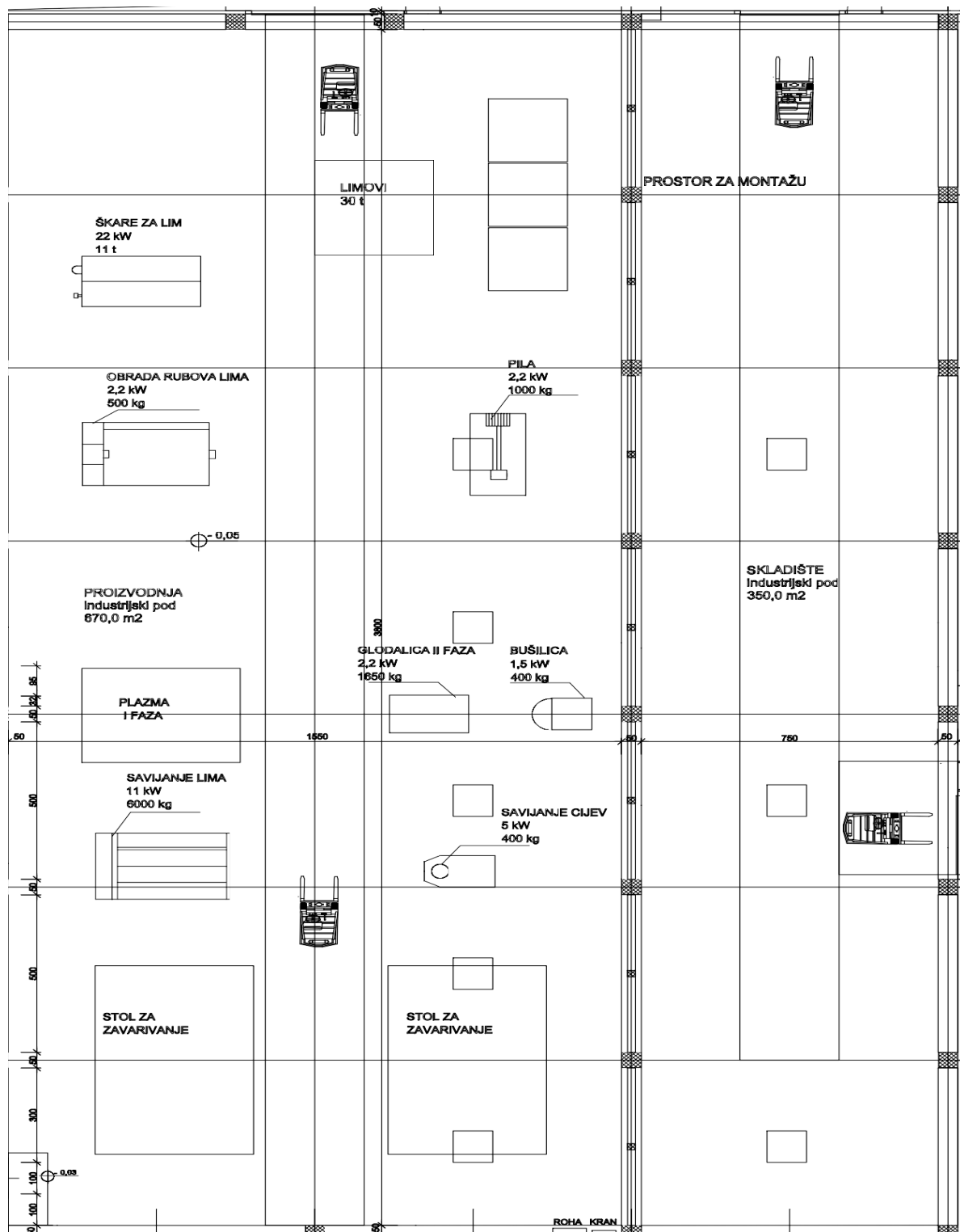


Slika 18. Shema WMS-a [15]

5.3. Prelazak na drugi model poslovanja

Zadnji prijedlog za optimizaciju procesa u poduzeću jest prelazak na model koji bi u sebi sadržavao proizvodni pogon. Sami prelazak s modela A (poduzeće bez osobnog proizvodnog pogona) na model B (poduzeće s vlastitim proizvodnim pogonom i velikim skladišnim prostorom) dugotrajan je i skup proces. Unatoč tome, poduzeće ne bi toliko ovisilo o nabavljaču te bi samim time moglo bolje raspolagati vremenom. Prilikom analize procesa u odabranom poduzeću, opcija seljenja poduzeća predstavljena je od strane projektanata. Uvođenje ovog prijedloga zahtijevati će određene investicije u infrastrukturu, tehnologiju i obuku osoblja. No, vjeruje se da će se investicije isplatiti u obliku poboljšanja operativnih performansi, stjecanja veće konkurentske prednosti i postizanja većeg uspjeha na tržištu.

Na slici 19. prikazan je dio tehničke dokumentacije novog postrojenja na novoj lokaciji.



Slika 19. Proizvodni pogon i skladišni prostor na novoj lokaciji

6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu detaljno su istraženi Lean alati, uključujući PDCA i DMAIC, te su primijenjeni na konkretni problem loše organizacije skladišta, što je rezultiralo značajnim kašnjenjima u isporukama u odabranom poduzeću. Kroz primjenu ovih alata, identificirani su ključni izazovi u procesu skladištenja. Statistička analiza podataka korištena je kako bi se kvantitativno potkrijepila analiza.

Na temelju rezultata analize, predložene su različite mjere, uključujući primjenu ABC metode skladišta, implementacija MRP i WMS sustava, te razmatranje mogućnosti realokacije skladišta. Točna procjena optimiziranog vremena za postizanje rezultata nije moguća jer odabrane metode ne pružaju mogućnost računanja istog. Umjesto toga, precizno ocjenjivanje vremena i učinka dolazi tek nakon implementacije i sustavnog mjerenja. U slučaju ovog rada, zbog ograničenog vremena analize, implementacija odabranih poboljšanja, te njihov utjecaj i mjerenje u odabranom poduzeću nije bila moguća. Kvantifikacija učinaka zahtijeva vremenski kontinuirano praćenje kako bi se dobili stvarni podaci. Vrijeme izuzimanja nastoji se približiti zaračunatom „optimističnom“ vremenu izuzimanja koje ne predstavlja ekstremnu vrijednost, već graničnu vrijednost intervala.

Kao prijedlog daljnje analize, preporučuje se kontinuirano praćenje Ključnih pokazatelja učinkovitosti (KPI-jeva), kako bi se uspješno evaluirali učinci implementiranih promjena. Praćenje KPI-jeva omogućuje detaljan uvid u trenutno stanje skladišta i proizvodnje, identifikaciju trendova, te efikasnu detekciju potencijalnih problema.

Sve ove metode zajedno će doprinijeti većoj učinkovitosti, smanjenju troškova, te poboljšanju ukupnih performansi poslovanja poduzeća, stvarajući temelj za održiv rast i konkurentsku prednost odabranog poduzeća na tržištu.

LITERATURA

- [1] grupa autora: Lean Enterprise Value: Insights from MIT's Lean Aerospace Initiative, 2002.
- [2] Growth companies incorporated :History of Lean,(internet), 2010. Dostupno na: http://www.growthcompanies.eu/site/php/lean.php?article_id=12 (pristupljeno 2. kolovoza 2023.)
- [3] Štefanić N.,Tošanović N, dipl.ing :Lean proizvodnja, Prof. Dr. sc. Nedeljko Štefanić, Nataša Tošanović, dipl.ing (internet), 2012., Dostupno na: https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/10_05_2012_16882_UZIP_-_Lean_proizvodnja.pdf (pristupljeno 10. kolovoza 2023.)
- [4] Dal Forno A., & Pereira F., & Forcellini F., Kipper L. :Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools (internet), 2023., Dostupno na: <https://www.gosiger.com/news/bid/180819/value-stream-mapping-in-7-steps> (pristupljeno 21. kolovoza 2023.)
- [5] Lean Six Sigma Groep: What is A Value Stream Map (internet), 2023, Dostupno na: <https://leansixsigmagroep.nl/en/value-stream-map/>(pristupljeno 20. kolovoza 2023.)
- [6] Smętkowska M., Mrugalska B.: Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study(internet), 2018., Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/324817361_Using_Six_Sigma_DMAIC_to_Improve_the_Quality_of_the_Production_Process_A_Case_Study (pristupljeno 27. kolovoza 2023.)
- [7] Guo W., Jiang P.: Integration of value stream mapping with DMAIC for concurrent Lean-Kaizen: A case study on an air-conditioner assembly line(internet), 2019., Dostupno na: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814019827115> (pristupljeno 27. kolovoza 2023.)
- [8] Čelar D.,Valečić V., Željezić D., Kondić Ž.: ALATI ZA POBOLJŠAVANJE KVALITETE QUALITY IMPROVEMENT TOOLS(internet), 2014., Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/191153> (pristupljeno 29. kolovoza 2023.)

- [9] Research gate(internet), 2023., Dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/Shows-the-Fishbone-diagram-DMAIC-is-a-Six-Sigma-five-steps-improvement-paradigm-Define_fig2_348592668 (pristupljeno 2. rujna 2023.)
- [10] Runje B., Osnove osiguravanja kvalitete(internet), 2023., Dostupno na: https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/01_09_2008_8901_PREDAVANJ_A_OOK.pdf (pristupljeno 7. rujna 2023.)
- [11] PMF, Uni ZG 2023. Dostupno na: https://eucenje.fsb.hr/pluginfile.php/23653/mod_resource/content/1/Nastavni_materijali/stat_tablice.pdf (pristupljeno 14. rujna 2023.)
- [12] Jenkins A.:ABC Inventory Analysis & Management(internet), 2023., Dostupno na: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/abc-inventory-analysis.shtml> (pristupljeno 7. rujna 2023.)
- [13] Material Requirement Planning (MRP), 2022. Dostupno na: <https://educationleaves.com/material-requirement-planning-mrp/> (pristupljeno 14. Rujna 2023.)
- [14] VEEQO: Warehouse Management PDF: A Complete Guide(internet), 2023., Dostupno na: <https://assets.ctfassets.net/hfb264dqso7g/4ieoxqNmjvWwOOBbL2e6rk/3f3518336e7766dd720e5c417324235e/Warehouse-Management-PDF.pdf> (pristupljeno 15. rujna 2023.)
- [15] Primat logistika: Logistički i informatički sustav (WMS)(internet), 2023. Dostupno na: <https://www.primatlogistika.hr/proizvodi/skladisni-uredaji-i-sustavi/skladisni-software-wms/software> (pristupljeno 15. rujna 2023.)