

# Standardizacija procesa ispitivanja ispravnosti rada transformatora

---

**Božić, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*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:235:754432>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Božić**

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Tomislav Božić

Zagreb, 2016.

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

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Nedeljku Štefaniću na pomoći i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojim komentorima gospodinu Ivici Zagorcu i gospodinu Predragu Belužiću iz poduzeća Končar Energetski Transformatori na nesebičnoj pomoći i podršci u izradi ovog diplomskog rada.

Tomislav Božić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za 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:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TOMISLAV BOŽIĆ** Mat. br.: 0035173986

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **STANDARDIZACIJA PROCESA ISPITIVANJA ISPRAVNOSTI RADA TRANSFORMATORA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **THE PROCESSES STANDARDIZATION OF EXAMINING VALIDITY OF TRANSFORMERS**

Opis zadatka:

Kako bi se ispunili zahtjevi kupca po pitanju rokova, kvalitete i cijene koriste se različiti proizvodni modeli, metode i tehnike proizvodnog menadžmenta. Na efikasnost proizvodnih procesa značajno utječu i druge funkcijske jedinice u poduzeću poput nabave, prodaje, logistike, skladištenja, distribucije, kontrole i drugih. Prilikom odvijanja proizvodnih procesa pojavljuju se različite vrste gubitaka i rasipanja što značajno utječe na smanjenje efikasnosti proizvodnje. U literaturi se mogu pronaći različiti pristupi unapređenja proizvodnje: Vitki menadžment, Šest sigma, Reinženjering proizvodnih procesa, Upravljanje ukupnom kvalitetom i drugi.

U radu je potrebno:

- Definirati i opisati vrste proizvodnji s obzirom na veličinu serije.
- Sistematizirati funkcijske zavisnosti kojima se prati trošenje resursa proizvodnje.
- Detaljno objasniti principe vitke (*lean*) proizvodnje te sistematizirati alate vitkog menadžmenta.
- Detaljno opisati postupak standardizacije rada te navesti moguće efekte.
- Na primjeru procesa ispitivanja transformatora primijeniti alate vitkog menadžmenta sa ciljem povećanja efikasnosti.

Zadatak zadan:

5. svibnja 2016.

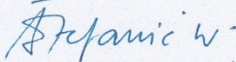
Rok predaje rada:

7. srpnja 2016.


Predviđeni datum obrane:

13., 14. i 15. srpnja 2016.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Franjo Cajner

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK .....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
2. PROIZVODNA FUNKCIJA U PODUZEĆU .....	2
2.1. Vrste proizvodnji s obzirom na veličinu serije .....	2
2.1.1. Pojedinačna proizvodnja .....	2
2.1.2. Masovna proizvodnja .....	4
2.1.3. Serijska proizvodnja .....	6
3. LEAN PROIZVODNJA .....	8
3.1. Definicija .....	8
3.2. Povijest i razvoj Lean-a .....	9
3.3. Toyotin proizvodni sustav TPS .....	11
4. TEMELJNI POJMOVI I ALATI LEAN SUSTAVA .....	14
4.1. Osnovni principi Lean sustava upravljanja .....	14
4.1.1. Definiranje vrijednosti .....	15
4.1.2. Lanac dodavanja vrijednosti .....	16
4.1.3. Ujednačenost i kontinuiranost toka proizvodnje .....	17
4.1.4. Povlačenje proizvodnje .....	17
4.1.5. Težnja za savršenstvom .....	18
4.2. Muda (otpad, rasipanje) .....	18
4.3. Lean alati .....	20
4.3.1. Kaizen .....	20
4.3.2. JIT (just in time) .....	22
4.3.3. Kanban .....	24
4.3.4. Andon .....	26
4.3.5. Poka-Yoke .....	26
4.3.6. 6S proces .....	27
4.3.7. Mapiranje toka vrijednosti (VSM) .....	29
4.3.8. Špageti dijagram .....	31
4.3.9. Multi moment study .....	32
4.3.10. Standardizirani rad .....	33
4.3.10.1. Zahtjevi za primjenu standardiziranog rada .....	34
4.3.10.2. Elementi standardiziranog rada .....	35
4.3.10.3. Koraci pri provođenju standardiziranog rada .....	35
5. KONČAR - ENERGETSKI TRANSFORMATORI .....	39
5.1. Povijest i razvoj Končara .....	39

---

5.2. Ispitivanje energetskih transformatora.....	43
5.2.1. Tipiska ispitivanja.....	43
5.2.2. Rutinska ispitivanja.....	44
5.2.3. Specijalna ispitivanja.....	44
5.2.4. Opis pojedinih ispitivanja.....	44
5.2.4.1. Mjerenje otpora namota.....	44
5.2.4.2. Mjerenje otpora izolacije.....	46
5.2.4.3. Mjerenje kapaciteta i kuta dielektričnih gubitaka.....	47
5.2.4.4. Mjerenje prijenosnog omjera i provjera polariteta (faznog pomaka).....	48
5.2.4.5. Mjerenje napona kratkog spoja i gubitaka tereta.....	48
5.2.4.6. Mjerenje gubitaka praznog hoda i struje praznog hoda.....	49
5.2.4.7. Dielektrična ili naponska ispitivanja.....	49
6. PRAKTIČNI DIO: PRIMJENA LEAN ALATA U ISPITNOJ STANICI KPT-A.....	51
6.1. Implementacija 6S principa u ispitnu stanicu.....	51
6.2. Multi moment study.....	60
6.3. Špageti dijagram.....	63
6.3.1. Snimljeno stanje.....	64
6.3.2. Stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja.....	70
6.4. Standardizirani rad.....	74
7. ZAKLJUČAK.....	80
LITERATURA.....	81
PRILOZI.....	83

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Usporedba troškovnih principa nekad i danas.....	1
Slika 2.	Primjeri pojedinačne proizvodnje .....	3
Slika 3.	Primjer masovne proizvodnje.....	5
Slika 4.	Montažna pokretna traka .....	10
Slika 5.	Osnovni principi lean sustava upravljanja.....	15
Slika 6.	Tri vrste aktivnosti u procesu proizvodnje .....	17
Slika 7.	Prikaz povlačenja proizvodnje .....	18
Slika 8.	Sedam vrsta gubitaka.....	19
Slika 9.	Kaizen princip .....	21
Slika 10.	Usporedba serijske proizvodnje i proizvodnje kontinuiranog toka.....	24
Slika 11.	Kanban princip povlačenja .....	25
Slika 12.	Andon signalizacija .....	26
Slika 13.	Poka-Yoke princip.....	27
Slika 14.	6S princip .....	27
Slika 15.	Primjer mapiranja toka vrijednosti .....	30
Slika 16.	Primjer špageti dijagrama.....	32
Slika 17.	Primjer rezultata multi moment studije .....	33
Slika 18.	Dijagram standardiziranog rada .....	36
Slika 19.	List studije trajanja procesa .....	36
Slika 20.	Kombinirana tablica standardiziranog rada.....	37
Slika 21.	Dijagram opterećenja .....	37
Slika 22.	List s instrukcijama za posao.....	38
Slika 23.	KPT proizvodni program.....	39
Slika 24.	Projekt TEMPEL.....	41
Slika 25.	Lean kuća .....	41
Slika 26.	Prvo ispitivanje transformatora .....	42
Slika 27.	Shema mjernog kruga voltmetar-ampermetar metode .....	45
Slika 28.	Shema mjernog kruga Kelvin-Thompson most.....	46
Slika 29.	Shema Scheringovog mosta .....	47
Slika 30.	Identificirano stanje u ispitnoj stanici .....	51
Slika 31.	Identificirano stanje u ispitnoj stanici .....	52
Slika 32.	Ocjenjivački list s prvog audita .....	53
Slika 33.	Prijedlozi poboljšanja .....	55
Slika 34.	Izvještaj o implementaciji mjere .....	56
Slika 35.	Stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja .....	57
Slika 36.	Stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja .....	58
Slika 37.	Ocjenjivački list s drugog audita .....	59
Slika 38.	Dijagram prve multi moment studije.....	61
Slika 39.	Dijagram multi moment studije nakon primjene prijedloga poboljšanja .....	63
Slika 40.	Tlocrt ispitne stanice .....	64
Slika 41.	Špageti dijagram 1 .....	65
Slika 42.	Špageti dijagram 2.....	66
Slika 43.	Špageti dijagram 3 .....	67
Slika 44.	Špageti dijagram 4.....	68
Slika 45.	Špageti dijagram 1 nakon poboljšanja.....	70



---

Slika 46.	Špageti dijagram 2 nakon poboljšanja.....	71
Slika 47.	Špageti dijagram 3 nakon poboljšanja.....	72
Slika 48.	Špageti dijagram 4 nakon poboljšanja.....	73

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba tradicionalnog i vitkog poduzeća .....	9
Tablica 2. Osnovni podaci o ispitnoj stanici .....	42
Tablica 3. Multi moment studija .....	60
Tablica 4. Postotni udio aktivnosti .....	61
Tablica 5. Postotni udio aktivnosti nakon primjene prijedloga poboljšanja .....	62
Tablica 6. Kombinirana tablica standardiziranog rada .....	75
Tablica 7. Kombinirana tablica standardiziranog rada nakon poboljšanja .....	77
Tablica 8. Studija procesa .....	78
Tablica 9. Instrukcije za posao .....	79

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
tk	min	Takt procesa
CT	min	Vrijeme ciklusa
d	m	Duljina
A	m <sup>2</sup>	Površina
V	m <sup>3</sup>	Volumen
m	kg	Masa

## SAŽETAK

Ovaj diplomski rad obuhvaća primjenu lean alata u ispitnoj stanici Končar Energetskih Transformatora s ciljem povećanja ispitnih kapaciteta i efikasnosti. U radu su navedeni i opisani tipovi proizvodnje s obzirom na veličinu serije. Također prikazan je povijesni razvoj lean proizvodnje, principi lean proizvodnje te su detaljno opisani alati koji se koriste pri implementaciji lean-a u poduzeća. Poseban naglasak je stavljen na opis implementacije standardiziranog rada. Nadalje navedena je povijest i razvoj tvrtke Končar Energetski Transformatori, te su nabrojana i opisana ispitivanja koja se provode u ispitnoj stanici. Eksperimentalni dio bavi se primjenom lean alata u ispitnoj stanici. Lean alati koji su primjenjeni su 6S proces, multi moment study, špageti dijagrami i standardizirani rad.

Ključne riječi: lean, 6S proces, multi moment study, špageti dijagram, standardizirani rad

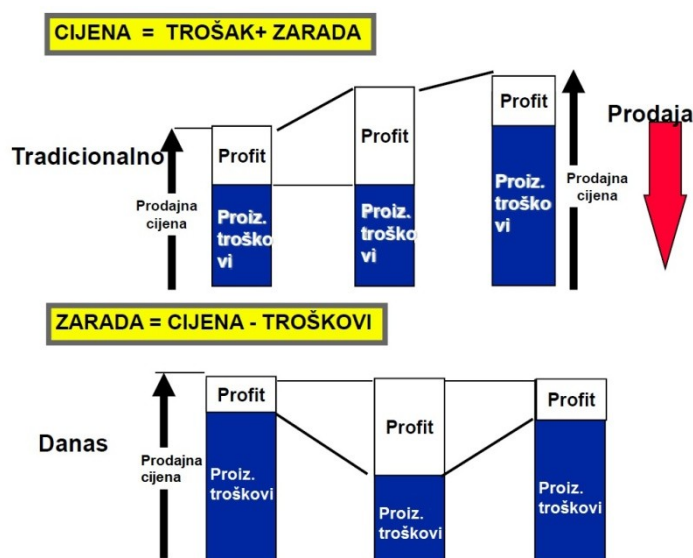
## **SUMMARY**

This master thesis covers lean tools application in Končar Power Transformers testing station with main goal of increasing testing capacities and efficiency. Types of production considering the size of batch are mentioned and described in this thesis. Also historical development of lean production and principles of lean production are shown, and lean tools which are used at lean implementation in firms are described in detail. Special emphasis is put upon the standardized work implementation description. Furthermore, history and development of Končar Power Transformers is mentioned, and the testings which are conducted in testing station are listed and described. Experimental part deals with application of lean tools in testing station. The applied lean tools are 6S process, multi moment study, spaghetti diagram and standardized work.

Key words: lean, 6S process, multi moment study, spaghetti diagram, standardized work

## 1. UVOD

Minimiziranje troškova, optimalno korištenje resursa te uspješno i profitabilno poslovanje su osnovni ciljevi svakog poduzeća. Promjene u ekonomiji i uspostava globalnog tržišta utjecale su na način na koji tvrtke posluju. Dugogodišnje tržište proizvođača u kojem je prodajna cijena bila zbroj troškova i željene zarade, globalizacijom se pretvorilo u tržište kupaca u kojem je dobit razlika između ostvarene prodajne cijene i troškova proizvodnje. (Slika 1.)



Slika 1. Usporedba troškovnih principa nekad i danas [1]

Stoga, svako poduzeće mora pristupiti snižavanju troškova poslovanja i optimalnom korištenju resursa s kojima raspolaže. Postoje brojni pristupi koji omogućuju tvrtkama povećanje njihove konkurentnosti na globalnom tržištu. Jedan je od mogućih pristupa lean menadžment koji tvrtkama omogućuje sniženje troškova poslovanja, procese bez zastoja, povećanu produktivnost i jeftiniju proizvodnju. Korištenjem alata lean menadžmenta i potpunom predanošću poduzeće može postati brže, bolje, a njegovi proizvodi jeftiniji na sve više konkurentnom tržištu.

Cilj ovog diplomskog rada je upravo primjena različitih alata lean menadžmenta u sklopu ispitne stanice KPT-a, kako bi se eliminirala nepotrebna kretanja i ostali gubici te na temelju toga poboljšala produktivnost i povećali kapaciteti.

## 2. PROIZVODNA FUNKCIJA U PODUZEĆU

Proizvodnja je svrsishodna ljudska djelatnost u kojoj se određeni skup resursa - inputa, transformira u određene proizvode outpute koji služe zadovoljenju ljudskih potreba. Outputi ili proizvodi mogu biti materijalne prirode, a mogu biti i raznovrsne usluge namjenjene određenoj grupi korisnika. Proizvodnja predstavlja najvažniju fazu u procesu društvene reprodukcije, jer je ona materijalna osnova za funkcioniranje ostalih društvenih procesa i aktivnosti. Sama proizvodnja se realizira kroz brojne tehnološke procese. Proces proizvodnje predstavlja jedan dinamički sistem u kome postoji kretanje materijala ( materijalni tokovi ) i kretanje informacija ( informacijski tokovi ). Kod složenijih proizvodnih sistema ovi tokovi mogu biti veoma složeni, pa zahtijevaju određene sustave za njihovo upravljanje. Ovom problematikom se bavi menadžment proizvodnje. Sistem upravljanja proizvodnjom funkcionira na principu povratne sprege, na taj način što se vrši ocjena kvalitete završnog proizvoda, u kojoj mjeri ona zadovoljava planirane vrijednosti. Ako postoji odstupanje, onda se na osnovi dobivenih informacija vrši korekcija polaznih elemenata ( materijal, tehnološki proces i drugo ) da bi se dobio željeni rezultat. [2]

### 2.1. Vrste proizvodnje s obzirom na veličinu serije

Tehnički menadžment bavi se proizvodnim sustavima. Zbog toga je i upravljanje pod snažnim utjecajem vrste i tipova proizvodnje. Svaka vrsta proizvodnje ima svoja pravila upravljanja, koja treba poštovati i uvažavati. [3]

Vrste proizvodnje s obzirom na veličinu serije su:

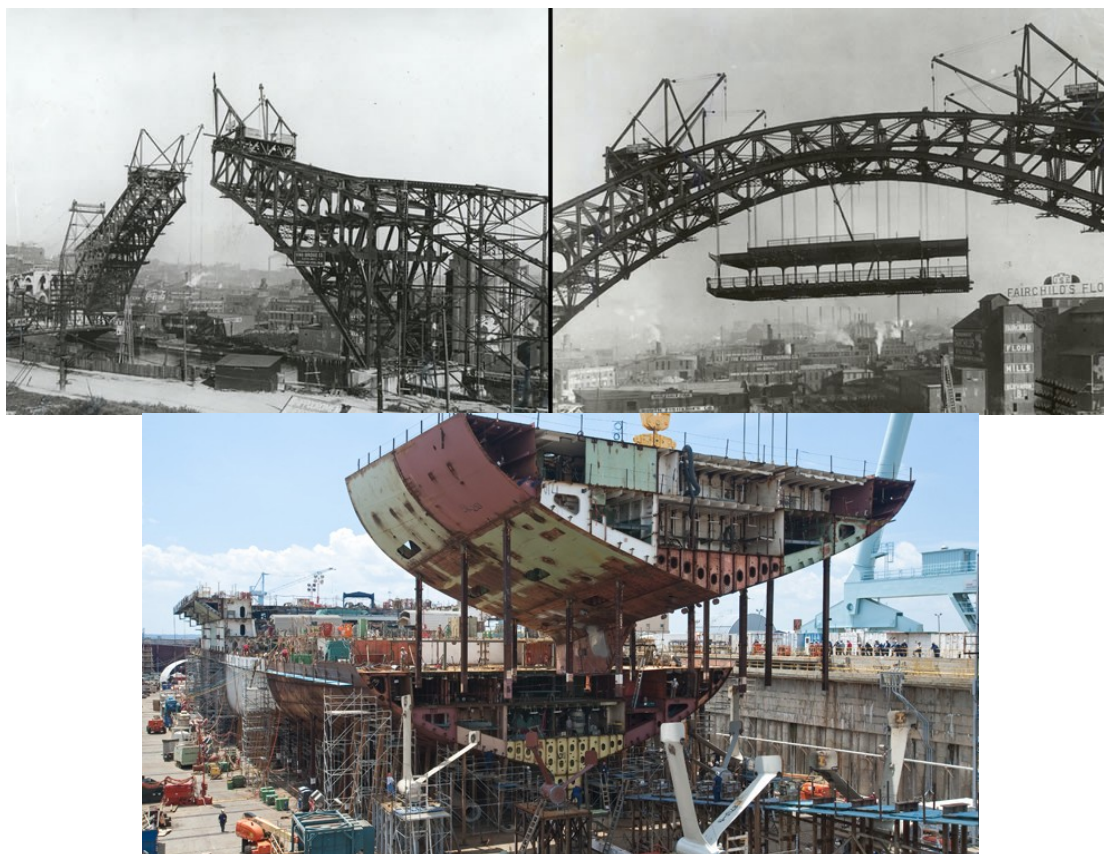
- Pojedinačna proizvodnja
- Masovna proizvodnja
- Serijska proizvodnja

#### 2.1.1. Pojedinačna proizvodnja

Ova vrsta proizvodnje orijentirana je na proizvodnju malih količina proizvoda, i to po narudžbama. Pojedinačna proizvodnja radi, po pravilu, bez zaliha gotovih proizvoda, za poznatog kupca i ne obnavlja se u narednom periodu. Izrada unikatnog proizvoda najčešće traje dugo u fazama, koje se odvijaju po projektnim rešenjima. Pojedinačna proizvodnja je, po

pravilu, radno intenzivna djelatnost. U njoj postoji visoko prisustvo ljudskog rada, jer se mnogi poslovi ne mogu mehanizirati ili je mehaniziranost neisplativa. Strojevi i oprema za izradu proizvoda su univerzalni, odnosno ima jako malo specijaliziranih strojeva. [3]

Pojedinačna proizvodnja organizira se najčešće u zanatstvu, kao što je izrada konfekcije po mjeri, za određenu osobu, zatim u proizvodnji specifičnih proizvoda kao što su : mostovi, brane, brodovi, specifični uređaji i aparati (Slika 2.). [4]



**Slika 2. Primjeri pojedinačne proizvodnje [4]**

Radna snaga u pojedinačnoj proizvodnji je kvalificirana, odnosno visoko kvalificirana, što je i logično, jer često mora rješavati različite probleme na različitim proizvodima, koji se nikada ne ponavljaju. U upravljanju pojedinačnom proizvodnjom poseban problem predstavlja preciznost planiranja, jer se vrijeme od naručivanja do izrade i isporuke proizvoda sve više skraćuje. Svaki “komadni” proizvod razlikuje se od prethodnog po konstrukciji, tehničkim i drugim uvjetima. [3]

Svaki pojedinačni proizvod zahtjeva posebnu pripremu, tehničku dokumentaciju, posebno



organiziranje i vođenje izrade. Za svaki proizvod rade se projekti, a razrađuju se putem skica, specifikacija itd. [3]

Raspored radnika na poslove i radne zadatke vrši se zavisno od strukture proizvodnje i objektivnih proizvoda, promjene proizvodnog programa zahtjevaju grupni raspored strojeva, korištenje univerzalnih strojeva i alata, što produžuje puteve kretanja materijala i povećanja troškova po jedinici proizvoda, poslovi velikog obujma, tehničke pripreme za svaki proizvod, visoke zalihe materijala i otežano planiranje utječu na povećanje troškova po jedinici proizvoda. To je uvjetovano, prije svega, visokim troškovima tehničke pripreme po svakom proizvodu. [4]

Kontrola kao element menadžmenta u pojedinačnoj proizvodnji postaje posebno problematična. Ona se odvija putem nadzora, odnosno stjecanja uvida u svaku fazu ili postupak, od strane ovlaštenih organa. Kontrola je otežana zbog nemogućnosti upoređivanja unikatnog proizvoda sa nekim prethodnim proizvodom ili s proizvodom izrađenim u drugoj kompaniji. U pojedinačnoj proizvodnji se primjenjuju posebni postupci u nabavkama, najčešće putem licitacije, a poseban problem predstavlja zatvaranje financijske konstrukcije. Financiranje se vrši u fazama, uz avansiranje za nabavku materijala ili obavljanje pripremnih radova. [3]

U budućnosti će pojedinačna proizvodnja sve više dobivati na značaju. Tehničko-tehnološka opremljenost omogućava da se efikasnost pojedinačne proizvodnje približi masovnoj i serijskoj, što nameće nove izazove tehničkom menadžmentu. [3]

### **2.1.2. Masovna proizvodnja**

Ovaj tip proizvodnje je karakteriziran proizvodnjom jednog proizvoda ili sličnih proizvoda u velikim količinama. Ona je kontinuirana, što zahtijeva stvaranje uvjeta za stalnu proizvodnju. Masovna proizvodnja zastupljena je u izradi širokog spektra proizvoda, od papira do automobila, iako se na primjeru japanske proizvodne filozofije, prije svega u Toyoti, vidi da se proizvodnja automobila može obavljati i po principima pojedinačne proizvodnje. Kod nje postoje dva aspekta: kontinuirana (lančana) proizvodnja, kao što je to slučaj kod izrade papira, i proizvodnja u diskontinuitetu, kao što je, na primjer, izrada mesnih prerađevina, konzerviranog voća i povrća, itd. (Slika3.) [3]



**Slika 3. Primjer masovne proizvodnje [6]**

U masovnoj proizvodnji radi se sa specijaliziranim strojevima i opremom, odnosno ne postoje univerzalni strojevi, jer se proizvodnja odvija po lančanom sistemu. Ona radi sa zalihama (materijala i proizvoda), proizvodi za nepoznatog kupca i oslanja se na očekivanu potražnju, koju treba stalno istraživati. Otuda se javlja potreba da se, paralelno sa masovnom proizvodnjom, primjenjuje i marketing koncept, od kojeg u najvećoj mjeri ovisi što će se i koliko proizvoditi. Suprotno pojedinačnoj, masovna proizvodnja je radno-ekstenzivna djelatnost. U njoj postoji malo prisustvo ljudskog rada, odnosno najveći dio operacija u proizvodnom procesu obavljaju strojevi, odnosno roboti i računala. Ljudski resurs u masovnoj proizvodnji je kvalificiran, bez specijalista, što je i logično jer je proizvodnja automatizirana, pa se radna snaga pretežno koristi u ručnim i izdvojenim poslovima, kakvi su, na primjer, pakiranje. Ovaj tip proizvodnje je težak za radnike, kako zbog teških uvjeta rada, još više zbog monotonije izazvane dugogodišnjim obavljanjem jedne operacije. [3]

Rad na pokretnim trakama je nehuman, jer je brzina izvođenja pojedinih operacija definirana brzinom kretanja trake. Zbog toga se u ovom tipu proizvodnje javlja veliko smanjenje vremena, prije svega kroz bolovanja. Profesionalna oboljenja su redovni pratitelji ove proizvodnje, zbog čega se radne operacije često analiziraju od strane eksperata medicine rada. S menadžerskog stajališta, u masovnoj proizvodnji u prvi plan se stavljaju pripremne radnje za izradu nulte serije, koja se preispituje i nakon toga doraduje, kako bi se ušlo u masovnu proizvodnju. Naglasak se stavlja na proizvodne operacije, skladištenje, plasman i dr. Posebnu pažnju u upravljanju masovnom proizvodnjom menadžerski tim usmjerava na "uska grla" i prazne hodove, otklanjanje zastoja i kvarova itd. Masovna proizvodnja sve više postaje prošlost. "Toyota sistem je razvijen da zadovolji tržište koje traži veliki broj varijanti sa relativno malim obujmom." Masovnu proizvodnju Japanci drugačije shvaćaju od

Amerikanaca. Oni smatraju da se velika (masovna) proizvodnja može ostvariti putem malih serija, pa čak i pojedinačnom proizvodnjom, koja je ekonomski isplativija od proizvodnje u velikim količinama. [3]

### **2.1.3. Serijska proizvodnja**

Potreba za smanjenjem troškova proizvodnje dovela je do serijske proizvodnje. Serijska proizvodnja je takav oblik proizvodnje koji se svrstava između pojedinačne i masovne proizvodnje. Ovdje se proizvodi ne izrađuju pojedinačno, ni kontinuirano, ali ni masovno, već u određenom broju, tj. seriji. Zbog toga, ona djelomično nosi karakteristike pojedinačne, a djelomično masovne proizvodnje. Karakteristike pojedinačne nosi zbog toga što se radi pojedinačna serija, a masovne zbog toga što se u jednoj seriji proizvodi veća količina istih ili sličnih proizvoda. Radna snaga u serijskoj proizvodnji je kvalificiranija u odnosu na radnu snagu u masovnoj. [3]

Karakteristike serijske proizvodnje su:

- u jednom ciklusu stvara se više istih proizvoda ili dijelova,
- broj istih proizvoda proizvedenih u jednom ciklusu čini jednu seriju,
- proizvodnja se obavlja po operacijama na svim proizvodima, završetkom jedne operacije započinje se druga itd., sve do završetka zadnje operacije i finalizacije proizvoda, čime se završava jedna serija proizvoda i započinje slijedeća,
- za svaki period vrši se detaljna tehnička priprema proizvodnje, u vezi s tim obavljaju se poslovi projektiranja razrade tehnološkog procesa, utvrđivanja normativa potrebnog materijala, radne snage i sredstva za rad,
- troškovi pripreme proizvodnje raspoređuju se na više istih proizvoda koji se stvaraju u jednoj seriji tako da je njihov nivo po jedinici proizvoda obrnuto srazmjeran broju jedinica istog proizvoda koji se proizvede u jednoj seriji,
- niži stupanj stručnosti radnika u odnosu na pojedinačnu proizvodnju, što je uvjetovano detaljnom tehničkom pripremom i smanjenim brojem operacija koje obavlja jedan radnik,
- radna mjesta i zadaci pojedinih radnika unaprijed se definiraju recepturom, što pozitivno utječe na nivo organiziranosti i produktivnosti i
- obujam i struka serijske proizvodnje prilagođavaju se objektivnoj mogućnosti prodaje proizvoda na tržištu. [4]

Strojevi su univerzalniji u odnosu na one koji se koriste u masovnoj proizvodnji, zbog čega su iskorišteniji, što smanjuje troškove proizvodnje. Poseban problem u serijskoj proizvodnji predstavlja određivanje veličine proizvodne serije, tempiranje vremena proizvodnje i potrebnog nivoa zaliha. Svaka serija proizvoda ima svojih karakteristika i osobina, kao što je dizajn, veličina itd. U serijskoj proizvodnji se posebna pažnja tehničkog menadžmenta usmjerava na tehničku pripremu određene serije, pripremu radnih mesta i strojeva za određene serije, te pripremu nove serije.

Mnoge kompanije rijetko primjenjuju isključivo jednu vrstu proizvodnje. Obično se kombinira više vrsta, što uvjetuje upravljanje proizvodnjom. Bez obzira na različitu problematiku upravljanja u različitim vrstama proizvodnje, upravljanje proizvodnjom se uglavnom svodi na tri osnovna pitanja:

- planiranje proizvodnje,
- upravljanje procesom proizvodnje i
- kontrolu procesa proizvodnje. [3]

### 3. LEAN PROIZVODNJA

#### 3.1. Definicija

Lean je proizvodna filozofija koja kada je implementirana skraćuje vrijeme od narudžbe kupca do isporuke gotovog proizvoda, eliminirajući sve izvore rasipanja (gubitaka) u proizvodnom procesu. Osnovno načelo lean proizvodnje je da se proizvodi točno ono što kupac ili klijent želi, tj. vrstu, kvalitetu i količinu proizvoda izravno diktira potražnja tržišta. Kao pojam prvi puta je primijenjen u knjizi „The machine that changed the world“ J.P.Womack-a i D.T.Jones-a, koja je bila rezultat istraživačkog rada IMVP-a (International Motor Vehicle Program), a gdje su autori prvi put opisali razlike između japanske i zapadne automobilske industrije i prvi put upotrijebili izraz lean za Toyotin način proizvodnje. [7]

To je poslovni sustav za organiziranje i upravljanje proizvodnjom, razvojem proizvoda, operacijama, dobavljačima, vezama sa kupcima, odnosno potrošačima, itd. Poslovne i druge organizacije koriste Lean sustav, odnosno Lean principe poslovanja koji uključuju specifične načine djelovanja kako bi stvorili točno određenu i ciljanu vrijednost za kupca (potrošača, klijenta), odnosno robu i usluge bolje kvalitete i sa što manje defekata uz korištenje: [7]

- manje ljudskog rada,
- manje prostora,
- manje kapitala,
- manje vremena nego kod tradicionalnog oblika masovne proizvodnje (Tablica 1.)

**Tablica 1. Usporedba tradicionalnog i vitkog poduzeća**

Elementi	"Tradicionalno poduzeće"	"Vitko poduzeće"
<b>Ciljevi poduzeća</b>	Pobijedi konkurenciju	Pridobiti kupce
<b>Kultura rukovođenja</b>	Riješiti probleme	Spriječiti probleme
<b>Prioriteti</b>	Rezultati	Rezultati i procesi
<b>Procedure</b>	Statične	Dinamične
<b>Kontrola</b>	Uzorak	100% kontrola
<b>Fleksibilnost</b>	Niska	Visoka
<b>Zaposlenici</b>	Označuju trošak	Smatra ih se izvorom potencijala i mogućnosti
<b>Strojevi / oprema</b>	Skupa, specijalizirana	Mala i visoko fleksibilna
<b>Rješavanje problema</b>	"Tko je kriv?" =Krizе	"Što je rješenje?"=Izvor poboljšanja

Lean poslovni sustav je cjeloviti sustav upravljanja poduzećem. To znači da ako se želi primijeniti ili implementirati na ispravan način mora obuhvatiti poduzeće u cjelini, odnosno sve njegove funkcije kao što su inženjering, proizvodnja, marketing, financije i odnosi sa kupcima.

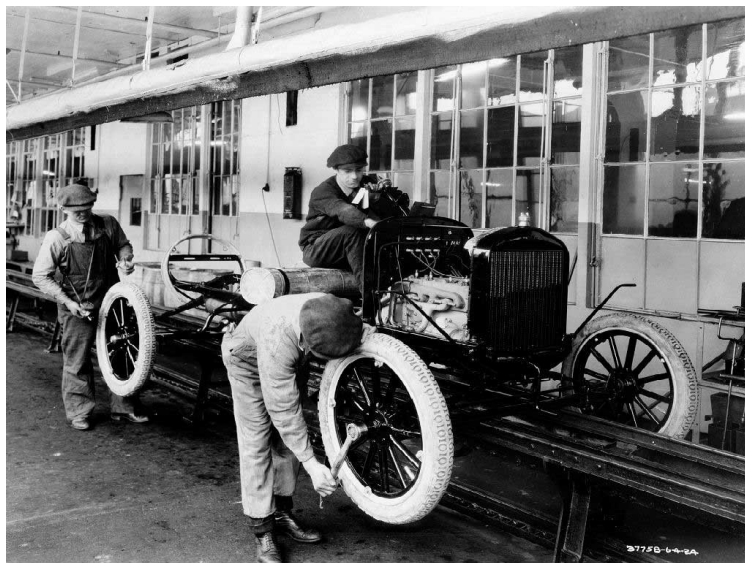
Lean metode i principi se ne odnose samo na proizvodnju odnosno na načine unaprijeđenja proizvodnoga procesa. Naprotiv, Lean je sveobuhvatan sustav upravljanja poduzećem i prvi korak uspješne implementacije je prihvaćanje te činjenice.

Vrhovni menadžment i vodstvo mnogih kompanija imaju velikih problema kod primjene Lean principa i načina djelovanja na proizvodni proces, a problemi se udvostručuju kada se Lean pokuša proširiti na cijelu strukturu poduzeća. Jedan od razloga je potpuno krivo shvaćanje uloge ljudi odnosno zaposlenika u procesu implementacije Lean sustava poslovanja, a drugi, ne manje važan razlog, je način na koji se mjere poslovni rezultati ili učinak poslovanja. [7]

### 3.2. Povijest i razvoj Lean-a

Mnoge ključne temelje i principe Lean sustava postavio je Henry Ford koji je 1913. godine uspio ostvariti prvu pravu integraciju proizvodnih procesa pod nazivom „Pokretna proizvodnja“. Pokretnu proizvodnju činila su tri elementa, a to su dijelovi, standardni rad i

pokretna traka. Na taj način je stvorio pokretnu montažnu (proizvodnu) traku (Slika 4.) što je predstavljalo prekretnicu u načinu proizvodnje. [7]



Slika 4. Montažna pokretna traka [8]

Henry Ford je uspio proces proizvodnje podijeliti u korake i tako podijeljene proizvodne korake poredati u proizvodne linije koristeći strojeve specijalne namjene gdje god je to moguće kao i kontrolne uređaje koji ne dopuštaju defektnim proizvodima prolaz na sljedeći korak procesa, a sve u cilju brze proizvodnje i montaže ispravnih dijelova u svega nekoliko minuta. To je bio revolucionaran korak u proizvodnji u odmak od klasičnih radionica koje su bile sastavljene od strojeva opće namjene grupirane prema vrsti obrade. Takve proizvodne radionice su proizvodile velike količine istovrsnih dijelova koji su zatim čekali u skladištu proizvodnju ostalih dijelova kako bi u konačnici bili sastavljeni u finalni proizvod. Takav način proizvodnje rezultirao je pretrpanošću, nedovršenom proizvodnjom kao i velikim brojem defektnih finalnih proizvoda. Međutim, Henry Ford nije imao problema sa protokom proizvodnje i obrtajem zaliha jer su se skladišta kompanije praznila svakih nekoliko dana. Problem je bila nemogućnost pružanja varijantnosti i raznolikosti proizvedenih automobila ovisno o zahtjevima tržišta na kojem je Ford počeo polako gubiti korak sa konkurentima. [7]

U tim trenucima, odnosno 1930-ih, a još intenzivnije nakon Drugog svjetskog rata, Kiichiro Toyoda, koji je 1930. godine osnovao *Toyota Motor Company*, Taiichi Ohno i drugi u Toyoti, sagledavši takvu situaciju u Fordu, zaključili su da je, uz seriju malih i jednostavnih inovacija u proizvodnom procesu, moguće osigurati kontinuitet i brz protok proizvodnje, a

istovremeno pružiti tržištu varijantnost i raznolikost proizvoda. Potaknuti takvim razmišljanjima, stručnjaci u Toyoti su revizirali i prilagodili Fordov originalni koncept proizvodnje vlastitim potrebama i potrebama tržišta te je tako nastao poznati Toyotin Proizvodni Sustav ili *TPS (Toyota Production System)*. [7]

### 3.3. Toyotin proizvodni sustav TPS

Toyotin proizvodni sustav se počeo razvijati neposredno poslije Drugog svjetskog rata. Japan je tada bio nerazvijena zemlja sa uništenom infrastrukturom, a sama Toyota je imala dug osam puta veći od vrijednosti kompanije. Da bi smanjila dug i povećala obrt kapitala Toyota je morala kompletno promjeniti sustav poslovanja.

Odmah su postavljene teze koje su pokrenule sam TPS:

- sve što tokom proizvodnog procesa ne doprinosi vrijednosti gotovog proizvoda potrebno je ukloniti iz procesa,
- smanjiti što je više moguće vrijeme ciklusa proizvodnje proizvoda i smanjiti troškove nezavršene proizvodnje, a pri tome povećati fleksibilnost sustava,
- ne proizvoditi proizvode za koje ne postoji kupac. Napraviti kupcu proizvod kakav on želi u što kraćem mogućem roku.

Da bi se postavljene teze mogle ostvariti menadžeri Toyote su morali otići u proizvodna postrojenja, izanalizirati stanje i pokušati unaprijediti proizvodnju što je više moguće. Poslije višemjesečne analize sustava, tadašnji glavni menadžeri Toyote Taiichi Ohno i Eiji Toyoda, odlučili su promjeniti pravila igre u auto industriji. Rađanju novog sustava proizvodnje u proizvodnim postrojenjima Toyote je prethodilo gostovanje Toyotinih menadžera u Fordovim poduzećima u SAD-u 1949. godine. Ohno i Toyoda su već tada uočili probleme u Fordovim poduzećima. U početku su bili oduševljeni brzinom proizvodnje i tehnološkog razvoja američke auto industrije. Ubrzo je oduševljenje splasnulo, a uočeno je mnogo nelogičnosti i problema u proizvodnji. Takvoj proizvodnji je bio potreban reinženjering, a menadžeri iz Toyote su tada shvatili i na koji način.

Ohno i Toyoda su shvatili da se ne mogu natjecati sa američkim gigantima poput Forda i General Motorsa, ali su također primjetili da vrijeme povlaštenog položaja proizvođača u odnosu na kupca polako prolazi. To je značilo da su kupci postajali sve zahtjevniji, i da nisu željeli toliko čekati kako bi dobili proizvod za koji su platili. Velike američke auto kompanije



još uvijek nisu primjetili taj problem, s obzirom da su narudžbe, u to vrijeme, višestruko prelazile proizvodne kapacitete.

Sljedeće što su primjetili je da Toyota u Japanu nema takav izbor kooperanta kao GM i Ford i da je izuzetno važno promijeniti način ugovaranja odnosa sa poslovnim kooperantima. Počeli su razvijati filozofiju u kojoj je broj kooperanata značajno manji nego kod GM i Forda, a kooperant izuzetno stimuliran za dugotrajni odnos sa Toyotom, pri čemu se proizvodnja dijelova pojednostavljuje, ali bez škarta i sa povećanom kvalitetom.

U proizvodnim postrojenjima, Ohno i Toyoda su naišli na nekoliko problema u procesu proizvodnje. Prvo su izračunali da na nekim radnim mjestima svega 10% vremena od ukupnog, koji predmet obrade provede u proizvodnom procesu, zaista potrošeno za njegovu obradu, a sve ostalo vrijeme služi za pripremanje radnog mjesta, alata i čekanja da predmet bude donešen. Drugi problem je bio taj što je bilo puno neispravnih dijelova koje je bilo potrebno eliminirati prije nego što se takav neispravan dio ugradi. Treći problem koji su primjetili je da je puno nedovršenih proizvoda u poduzećima usljed povećanog broja različitih modela automobila. I četvrti problem koji su Ohno i Toyoda uočili je bio taj što je promjena alata predugo trajala, posebno kod preša za karoserija automobila, i predstavljala je najveće usko grlo buduće fleksibilne proizvodnje.

Toyota production system puno je više od skupa alata i metoda za rješavanje problema, TPS je sustav razmišljanja i filozofija koja govori o odgovornom ponašanju i vraćanju vrijednosti prema kupcima, zaposlenima, imovini i društvu, te za uspješnu implementaciju potrebno je razumjeti kako ljudi u Toyoti razmišljaju.

Jedna od osnovnih karakteristika tog proizvodnog sustava je preusmjeravanje težišta djelovanja proizvodnih inženjera sa pojedinačnih strojeva i njihovog iskorištenja, kao i individualnih procesa, na cjelokupni proces proizvodnje i protok proizvoda kroz tu proizvodnju. U Toyoti su zaključili kako bi uz pomoć nekoliko jednostavnih rješenja u proizvodnji bili u stanju osigurati:

- niske troškove proizvoda,
- visoku varijantnost proizvoda,
- visoku kvalitetu proizvoda,
- vrlo kratko vrijeme od narudžbe do isporuke proizvoda,

a sve u cilju brze i kvalitetne reakcije na nestabilne odnosno promjenjive zahtjeve tržišta.

Neka od rješenja u proizvodnji su:

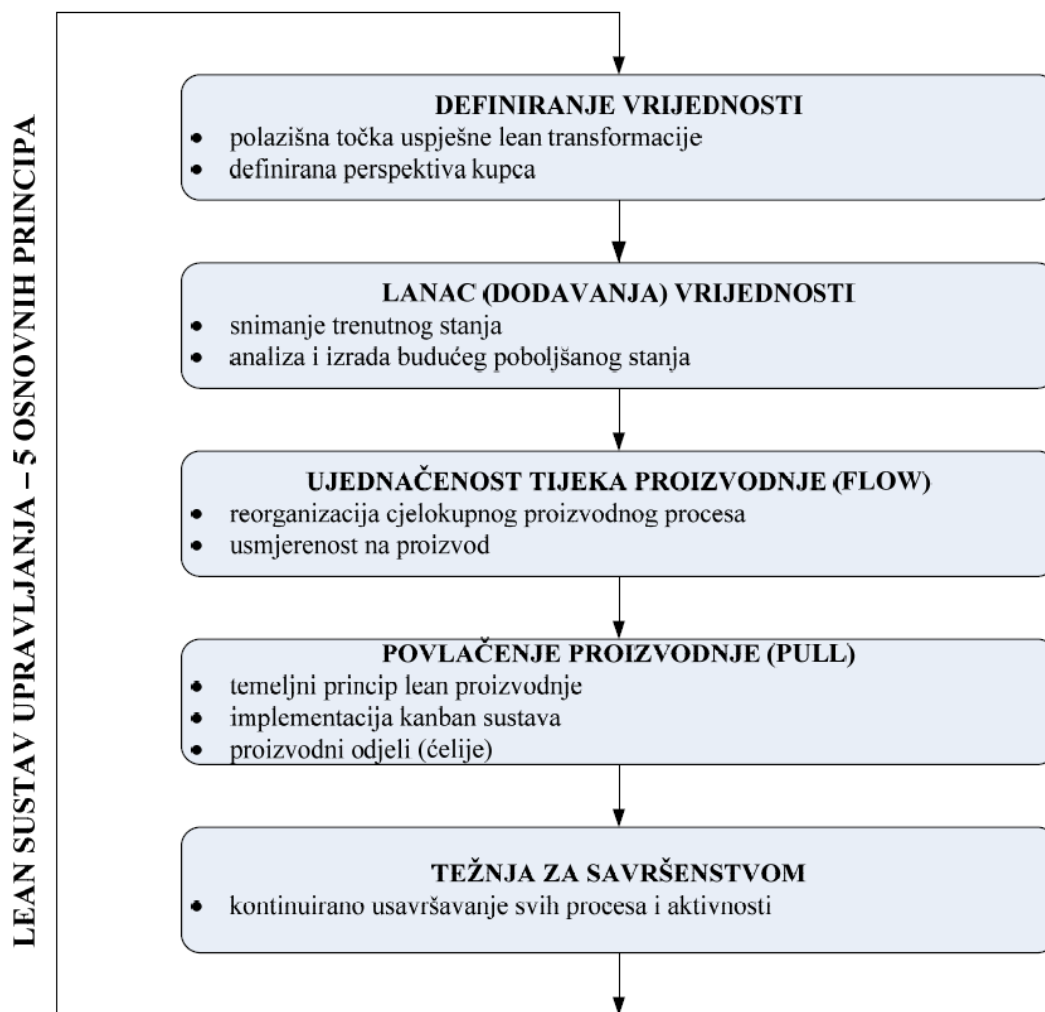
- oblikovanje strojeva i opreme odnosno njihovo prilagođavanje obujmu potrebne proizvodnje,
- implementacija strojeva i proizvodne opreme koja sadrži uređaje i senzore za samokontrolu (*Andon* sustavi odnosno uređaji sa vizualnim upozorenjima na nepravilnosti u procesu) sa ciljem osiguravanja proizvodnje bez škarta,
- precizno oblikovanje rasporeda strojeva i proizvodne opreme prema proizvodnim koracima u procesu proizvodnje (tehnološki proces) u cilju osiguranja kontinuiranosti proizvodnih procesa,
- postizanje kratkih pripremno-završnih vremena kako bi se omogućila proizvodnja malih količina odnosno serija različitih dijelova ili proizvoda,
- implementacija „pull“ sustava proizvodnje, što znači da svaki korak proizvodnoga procesa obavještava prethodni korak za trenutnom potrebom materijala ili dijelova. Na taj način se proizvodi samo potreban broj dijelova za svaki sljedeći korak proizvodnog procesa odnosno nema nepotrebnog gomilanja materijala ili dijelova.

Danas Toyota predstavlja vodeći svjetski primjer uspješne Lean proizvodnje, odnosno Lean sustava upravljanja uopće, o čemu govori i činjenica da krupnim koracima idu prema prvom mjestu u automobilskoj industriji gledano prema kvaliteti i broju prodanih automobila u svijetu. Najveći dokaz snage Lean sustava upravljanja poduzećem je Toyotina dominantnost na svjetskom tržištu automobila, njihova visoka kvaliteta kao i vodeća uloga u hibridnoj tehnologiji. I kako se Lean filozofija širi svijetom i dolazi u gotovo svaku državu svijeta, menadžeri i vlasnici kompanija usavršavaju specifična znanja i tehnike Lean upravljanja koja se počinju primjenjivati i izvan same proizvodnje, dakle u uslužnim poduzećima, logistici, distribuciji, održavanju, zdravstvu pa čak i u vladi odnosno politici. [7]

## 4. TEMELJNI POJMOVI I ALATI LEAN SUSTAVA

### 4.1. Osnovni principi Lean sustava upravljanja

Svaki poslovni sustav, proizvodni ili uslužni, prožet je raznim nepravilnostima koje se mogu nazvati nazvati gubicima, a koje uzrokuju nepotreban trošak. Japanska riječ za gubitke u proizvodnji odnosno poslovanju jest „*muda*“. Takve gubitke u poduzeću ili kompaniji moguće je definirati kao aktivnosti koje troše resurse, a ne stvaraju ili ne dodaju vrijednost. U proizvodnom procesu vrijednost se stvara ili dodaje proizvodu koji se proizvodi i prodaje, dok se u uslužnim procesima vrijednost stvara odnosno dodaje usluzi koja se razvija i nudi klijentima. U jednom i u drugom slučaju je najvažniji klijent odnosno kupac i on nije spreman plaćati aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu ili usluzi koje on kupuje. Pogreške koje zahtijevaju ispravljanja, proizvodnja proizvoda koji završavaju na skladištu jer ih tržište nije spremno prihvatiti, nepotrebne aktivnosti u procesu, nepotrebna kretanja zaposlenika i transport roba unutar proizvodnog sustava itd., samo su neki od primjera gubitaka koji se nalaze u gotovo svakom poduzeću ili kompaniji. Pitanje je samo u kojoj su mjeri zastupljeni. Lean sustav upravljanja je način na koji je moguće organizirati i efikasno voditi poslovanje, a osnovna zadaća odnosno prioritet je uočavanje i eliminacija svih vrsta gubitaka u proizvodnji. To naravno nije jednostavna zadaća te se za takav proces angažiraju stručnjaci odnosno konzultanti koji posjeduju znanje i iskustvo u radu na takvim i sličnim projektima. Međutim, Lean sustav upravljanja se može opisati pomoću pet osnovnih principa ili karakteristika koji prikazuju opću sliku i predstavljaju bazu razumijevanja takvog sustava, a to su (Slika 5.): [9]



Slika 5. Osnovni principi lean sustava upravljanja [10]

#### 4.1.1. Definiranje vrijednosti

Vrijednost je jedna od kritičnih točaka Lean poslovanja, koja može biti definirana isključivo iz perspektive kupca ili klijenta. Dakle, bitno je razumjeti kako kupac doživljava proizvod ili uslugu koju mu nudimo i iz tog aspekta pokušati definirati vrijednost. Znači da o vrijednosti govorimo kao o osobini vezanoj za određeni proizvod ili uslugu, koja ispunjava svoju osnovnu zadaću, a to je zadovoljenje potreba i želja kupaca ili klijenata. Tako definirana vrijednost predstavlja polazišnu točku uspješne proizvodnje i poslovanja. Međutim, najčešće nije tako. Naprotiv, kompanije proizvode i nude ono što njima najviše odgovara, dok se stvarne želje kupaca zanemaruju i stavljaju u drugi plan. Ovdje se prvenstveno radi o konačnoj cijeni proizvoda ili usluge, koje bi tržište eventualno moglo prihvatiti, u ovisnosti o kojoj se onda oblikuju svi ostali procesi. Takav način razmišljanja je izuzetno ograničavajuć i

direktno se odražava na kvalitetu proizvoda. Dugoročno, takva situacija rezultira nezadovoljstvom kupaca i okretanjem prema konkurentskim proizvodima i uslugama koji su kvalitetniji i bolje prilagođeni njihovim potrebama i željama. Suprotno tome, Lean poslovanje nalaže da se vrijednost proizvoda koji planiramo proizvoditi ili usluge koju planiramo nuditi razmotri i definira iz perspektive kupca. Nakon toga se cijeli proces razvoja proizvoda ili usluga temelji na osiguravanju vrijednosti koja je definirana na spomenuti način. Prilikom toga, proces proizvodnje i poslovanja treba biti oblikovan na način da ne sadrži gubitke, a to je moguće postići preciznim definiranjem i oblikovanjem lanca vrijednosti. [9]

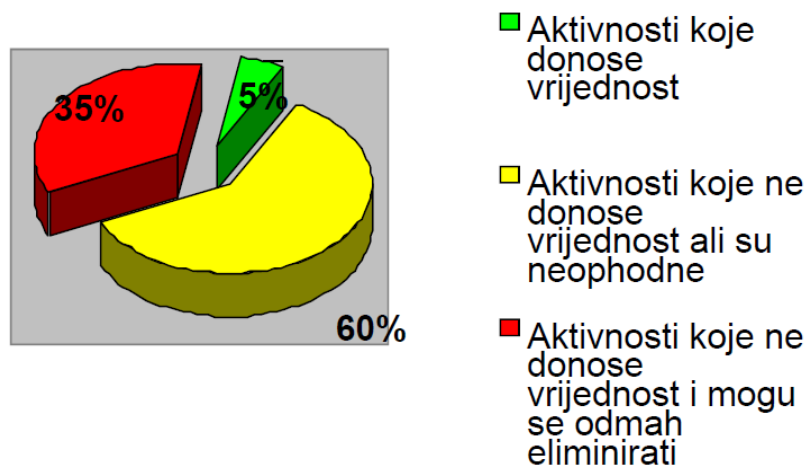
#### 4.1.2. Lanac dodavanja vrijednosti

Lanac dodavanja vrijednosti je skup svih aktivnosti u poduzeću ili kompaniji koje na bilo koji način (direktno ili indirektno) sudjeluju u stvaranju odnosno dodavanju vrijednosti proizvodu ili usluzi koje nudimo kupcima ili klijentima. U svakom poslovanju možemo govoriti o tri osnovne skupine procesa kroz koje odreneni proizvodi ili usluge mogu prolaziti, a to su:

- *procesi rješavanja problema* (npr. razvoj idejnog projekta, konstrukcija i dizajn, projektiranje tehnološkog procesa itd),
- *procesi informacijskog menadžmenta* (npr. procesiranje narudžbi, organizacija proizvodnje i poslovanja, isporuke kupcima itd)
- *procesi transformacije sirovina* ili početnih materijala u gotove proizvode,

Precizno definiranje lanca vrijednosti predstavlja ključni korak u uočavanju i eliminaciji gubitaka u proizvodnji. Analiza procesa poslovanja sa aspekta dodavanja vrijednosti nam jasno ukazuje na tri vrste aktivnosti (Slika 6.):

- aktivnosti koje su neophodne i koje direktno stvaraju vrijednost (procesi obrade i oblikovanja materijala, zaštita materijala, montaža, toplinska obrada itd.),
- aktivnosti koje su neophodne za odvijanje cjelokupnog procesa ali ne stvaraju direktno vrijednost (kontrola kvalitete, transport, skladištenje itd.),
- aktivnosti koje nisu neophodne i koje ne stvaraju odnosno ne dodaju vrijednost, pa se stoga mogu odmah eliminirati [9]



Slika 6. Tri vrste aktivnosti u procesu proizvodnje [1]

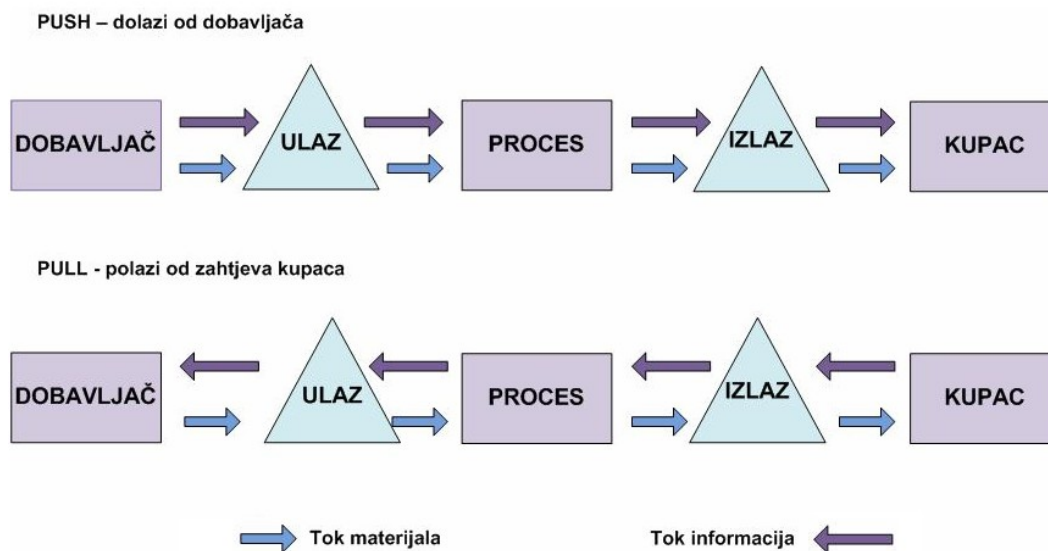
#### 4.1.3. Ujednačenost i kontinuiranost toka proizvodnje

Jednom kada je precizno definirana vrijednost proizvoda ili usluge koju želimo osigurati, te kada je provedena analiza lanca vrijednosti i kada su nepotrebne aktivnosti eliminirane iz procesa, može se pristupiti preoblikovanju preostalih koraka i pripadajućih aktivnosti u cilju ujednačenog i neometanog toka procesa proizvodnje. To najčešće uključuje reorganizaciju cjelokupnog proizvodnog pogona, odnosno ljudi i proizvodne opreme. Ovdje je najbitnije usmjeriti se na objekt analize odnosno proizvod koji prolazi kroz proces dodavanja vrijednosti od nabave sirovina, preko proizvodnje i na kraju do isporuke kupcima. Niti u jednom trenutku ne smije se izgubiti nadzor ili kontrola nad proizvodom i u svakom trenutku mora biti potpuno jasno u kojoj fazi procesa se proizvod nalazi i zašto. [9]

#### 4.1.4. Povlačenje proizvodnje

Povlačenje proizvodnje (eng. „pull“) je jedan od temeljnih principa Lean proizvodnje i poslovanja. Bitno je naglasiti da povlačenje proizvodnje započinje od strane kupca i to kupovinom ili narudžbom određene količine nekog proizvoda. Svaki proizvod prolazi kroz određene procese i pripadajuće specifične aktivnosti u poduzeću ili kompaniji, koje smo ranije naveli, a koje tvore lanac vrijednosti dotičnog proizvoda. Nakon što je od strane kupca inicirana potražnja odnosno potreba za proizvodom, svaki korak u lancu vrijednosti prenosi informaciju na prethodni korak u procesu da postoji potreba za određenom količinom materijala, dijelova ili proizvoda. Na taj način informacija putuje duž lanca vrijednosti i pokreće proces u kojem se odvijaju sve specifične aktivnosti (one koje dodaju vrijednost i one

koje ne dodaju vrijednost, ali su nužne za cjelokupno odvijanje procesa) potrebne da bi se od sirovina ili početnih materijala dobio gotov proizvod i isporučio kupcu odnosno zamijenio onaj kupljeni. Na taj način se gubi potreba za planiranom proizvodnjom i sprječava nepotrebno gomilanje zaliha (Slika 7.). [9]



**Slika 7. Prikaz povlačenja proizvodnje [11]**

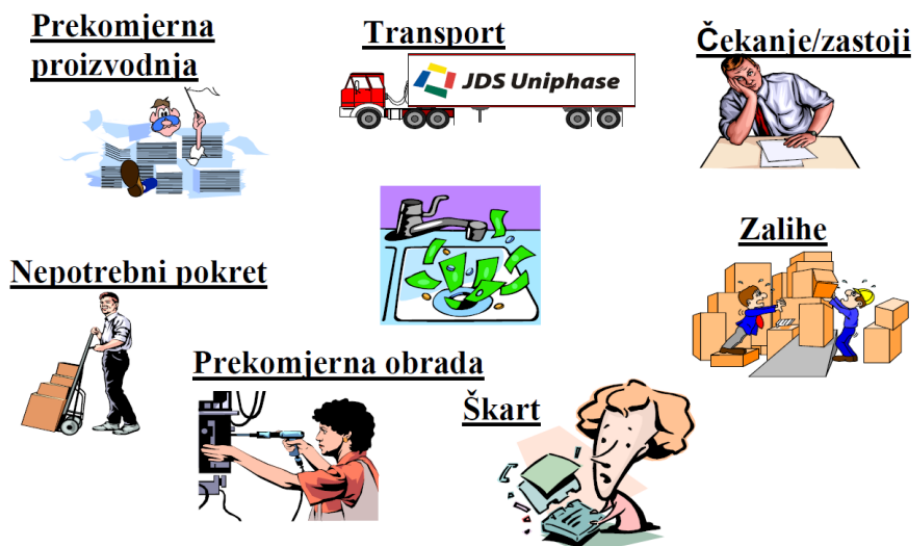
#### 4.1.5. Težnja za savršenstvom

Posljednji od pet temeljnih principa lean sustava upravljanja je težnja za savršenstvom, koja u biti predstavlja kontinuirano usavršavanje ("kaizen") svih procesa i aktivnosti u poduzeću ili kompaniji. Naime, kontinuirano usavršavanje u lean sustavu upravljanja je proces koji se ne smije prestati odvijati jer nam osigurava prednost pred konkurencijom. Lean sustav upravljanja nalaže da se konstantno održavaju kaizen radionice u svrhu usavršavanja raznih procesa u poduzeću ili kompaniji i možemo zaključiti da uvijek postoji još prostora za naknadno poboljšanje trenutnih načina odnosno metoda rada. [9]

## 4.2. Muda (otpad, rasipanje)

Muda je japanski pojam za aktivnost koja troši resurse, a ne dodaje vrijednost. Takva aktivnost povećava proizvodno vrijeme i povećava cijenu proizvoda. Otpad (muda) po TPS filozofiji su sve radnje, materijali ili procesi koji ne donose vrijednost krajnjem proizvodu pa ih stoga treba nemilosrdno tražiti i jednog po jednog uklanjati.

Postoje 7 osnovnih tipova gubitaka (Slika 8.) koje su definirali menadžeri Toyote. Takva sistematizacija se može primijeniti u bilo kojem poduzeću, za bilo koji proces i osnova je lean koncepta. [12]



Slika 8. Sedam vrsta gubitaka [1]

Sedam vrsta gubitaka:

### 1. Prekomjerna proizvodnja

- Stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržište
- Stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva ili koja uopće neće kasnije koristiti
- Slanje uputa prema previše ljudi (ili obratno)
- Loše predviđanje (procjena) prodaje, tj. zahtijeva tržišta

### 2. Transport

- Nepotrebno kretanje materijala (obradaka) između operacija ili između skladišnih površina
- Neučinkovit transport informacija
- Neuspješna komunikacija: gubitak podataka, nekompatibilnost, nepouzdanost informacija
- Korištenje starih, neučinkovitih tokova kretanja materijala



### 3. Vrijeme čekanja

- Vrijeme čekanja materijala između operacija
- Čekanje radnika na strojevima ili na materijal (loše planiranje proizvodnje)
- Čekanje na isporuku (npr. kasni sirovina i sl.)
- Čekanje na podatke, rezultate testova. Informacije, odluke, potpis, odobrenje i sl.

### 4. Prekomjerna obrada

- Predimenzionirani strojevi, kriva ili nedostajuća tehnološka oprema, pripremno-završno vrijeme, čišćenje između obrade
- Previše procesa obrade
- Loša konstrukcija proizvoda, koja zahtijeva previše koraka obrade (prekompleksan proizvod)

### 5. Zalihe

- Visoke zalihe povezane su sa prekomjernom proizvodnjom („zamrznuti kapital” u skladištima)

### 6. Nepotrebni pokreti

- Loš raspored strojeva- nepotrebno gibanje radnika
- Loša ergonomija radnog mjesta
- Ljudi se trebaju micati kako bi dobili informaciju
- Ručni rad kako bi se kompenzirali neki nedostaci u procesu proizvodnje

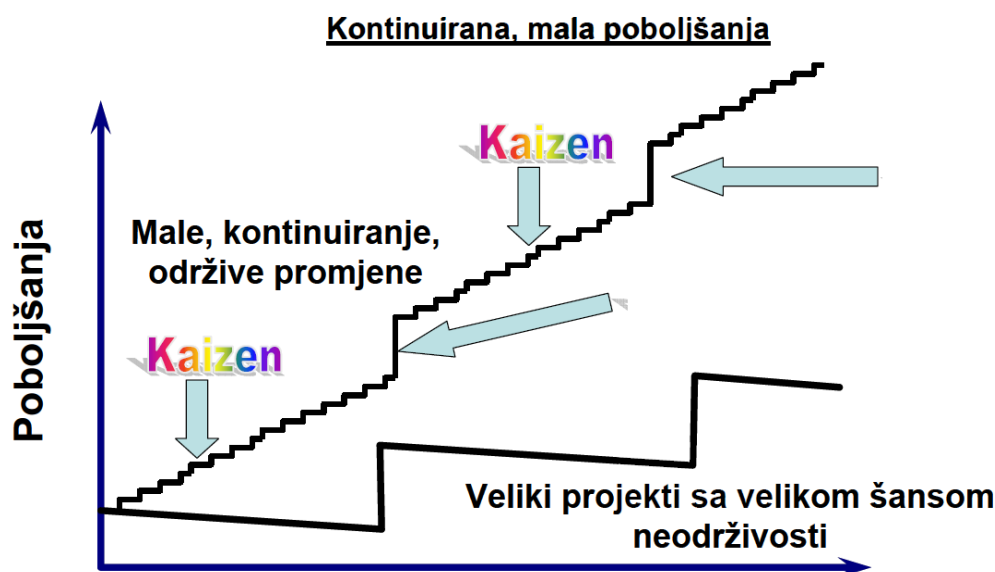
### 7. Škart

- Prekid toka proizvodnje zbog grešaka, trošenje vremena i sredstava za analizu pogreške i za otklanjanje uzroka
- Nepotpune, netočne, nepravodobne informacije [1]

## 4.3. Lean alati

### 4.3.1. Kaizen

Japanska složenica dolazi iz kombinacija riječi „Kai“ koja znači promjena, odnosno riječi „Zen“ koja znači dobro. Označava japansku poslovnu filozofiju života i rada. U literaturi se može još naći pod nazivom “Put malih koraka” što realno opisuje Kaizen metodologiju zbog toga što se ona sastoji od kontinuiranih malih poboljšanja (Slika 9.).



Slika 9. Kaizen princip [1]

Kaizen je japanski termin za „promjenu na bolje“ ili „poboljšanje“, koji bismo mogli grubo prevesti i kao kontinuirano postupno poboljšanje. Najprikladnija mu je primjena na taktičkoj razini proizvodne linije, funkcije ili cijele organizacije koja je relativno zrela i stabilna. Ciljevi Kaizena uključuju: eliminaciju otpada, just in time isporuku, optimizaciju/izravnavanje razina proizvodnje, standardiziranje radnih procedura. Kaizen bismo mogli definirati i kao „rastavljanje na sastavne dijelove i ponovno sastavljanje“. Dakle, Kaizen nalaže da moramo promatrati neki proces kako bismo ga rastavili na aktivnosti te tada zasebno pokušavali unaprijediti svaku od tih aktivnosti kako bi nakon sastavljanja sam proces bio jednostavniji i lakši za radnike. Kaizen je smislen jedino ako je dugoročan, pokazuje brze rezultate s malim, individualnim doprinosima najnižoj razini organizacije ili toku vrijednosti i radi se na taktičkoj razini.

Kaizen se temelji na nekoliko poslovnih pravila:

- ne smije se prihvaćati postojeće stanje,
- treba podržavati pozitivan pristup, odnosno usmjerenost,
- ne smije se tražiti izgovore i opravdanja, nego ustrajati na rješavanju problema,
- treba podržavati akcije i provoditi ideje,
- treba koristiti svoje znanje u timskom radu.

Iz ovih poslovnih pravila možemo i vidjeti zašto Kaizen znači kontinuirano poboljšanje. Možemo zaključiti da se to postiže tako da si stalno postavljamo nove ciljeve kojima onda težimo, a kad ih dostignemo, oni su zapravo samo odskočna daska za nove ciljeve. [12]

#### 4.3.2. *JIT (just in time)*

JIT je jedan moderan princip proizvodnje čija načela daju dobar primjer kako opstati na tržištu, tj. na koje stvari bi smo trebali obratiti pažnju ukoliko želimo biti konkurentni.

JIT je ekonomski pojam koji predstavlja strategiju smanjenja troškova u proizvodnji, gdje se proračunom postiže kraće vrijeme skladištenja dijelova, sirovina ili samo izbjegavanje skladištenja, te stavljanje istih u najkraćem roku u proizvodni proces.

Neke od osnova te proizvodnje su povećanje kvalitete proizvoda, povećanje produktivnosti, smanjenje zaliha na najmanju moguću razinu, ukidanje skladišta te smanjenje troškova i škarta.

Temelji se na pripremi sirovina, materijala i poluproizvoda za proizvodnju tek onda kad za njima postoji potreba na tržištu, tj. nabavlja se samo onoliko koliko je potrebno za proizvodnju, a proizvodi se onoliko koliko se traži na tržištu. To se postiže povezivanjem dobavljača, proizvođača i kupaca što omogućuje kontinuiranost proizvodnog procesa bez čekanja na dobavljače ili kupce.

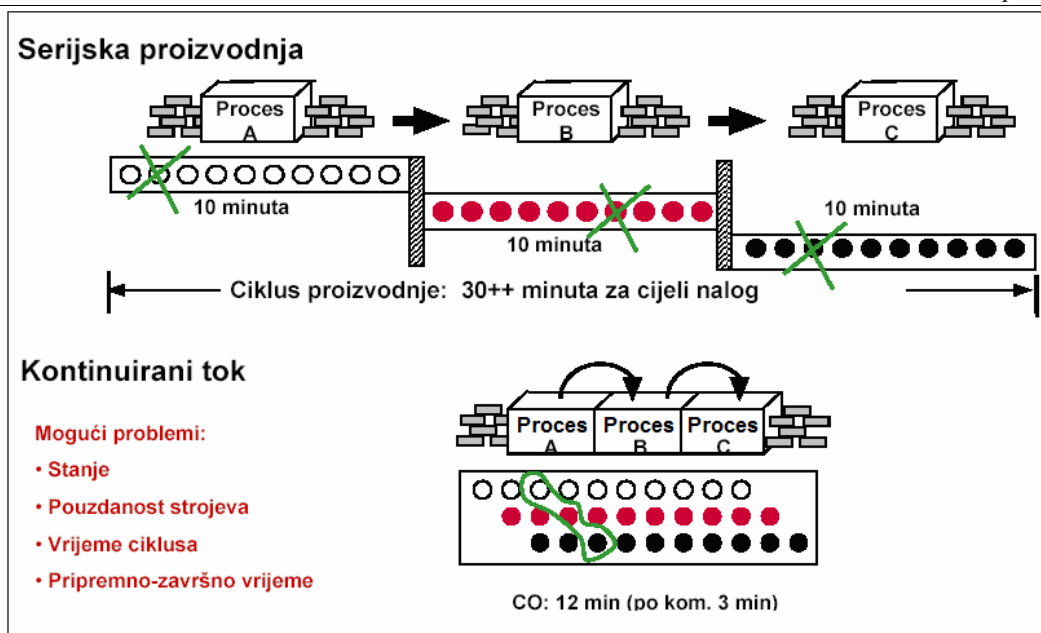
Ovakav princip proizvodnje specifičan je po tome što se uvažava mišljenje radnika, tj. omogućuje se svakom članu organizacije da iznese svoje mišljenje kako poboljšati neki poslovni proces. To djeluje pozitivno na psihu radnika, podiže im moral a samim time i njihovu motiviranost za rad. Cilj je stvoriti osjećaj kod svakog radnika da je važan za organizaciju i da timski rad djeluje pozitivno na dobrobit organizacije ali i svakog člana organizacije.

Ciljevi JIT-a:

- **Uspostava partnerskih odnosa s dobavljačima** - cilj JIT-a je smanjiti broj dobavljača i vrijeme potrebno od narudžbe do isporuke.
- **Politika Zaliha** - teži se potpunom izbjegavanju zaliha, a to su zapravo minimalne zalihe (upravo ona količina zaliha koja će se preraditi u neposrednom vremenu)
- **Projektiranje proizvoda** - postiže se smanjenjem broja dijelova a teži se savršenoj kvaliteti.

- **Projektiranje procesa** - tu se misli na reorganizaciju poslovnog procesa tako da se specijaliziraju pogoni, smanje se pogonski prostori i transportni putovi između njih.
- **Razvoj ljudskih potencijala** - stalno doškoloavanje kadrova da budu fleksibilniji te inovativniji.
- **Sustav upravljanja proizvodnjom** - teži se decentralizaciji upravljanja proizvodnim procesom
- **Postizanje rentabilnosti poduzeća** - cilj je što više smanjiti troškove uz što bolje iskorištenje kapitala

Na slici 10. vidljiva je usporedba serijske i proizvodnje kontinuiranog toka. Ova potonja upravo je onakva kakvu propisuju značajke JIT proizvodnje. Takav jednodimenzionalni kontinuirani tok ("one-piece-flow") suprotan je serijskoj proizvodnji. Ovdje se, umjesto obrađivanja većeg broja istih proizvoda, koji nakon obrade čekaju sljedeću operaciju, obrađuje svaki proizvod pojedinačno, ali bez prekidanja toka. Pojedinačna kontinuirana proizvodnja povećava kvalitetu i smanjuje troškove. Na slici se vidi koje su prednosti takve proizvodnje (smanjeno ukupno protočno vrijeme i dr.), ali da proces kojim bismo takvo stanje postigli nije jednostavan, dokazuju brojni problemi koji se ovdje mogu pojaviti. Ti problemi mogu primjerice biti pouzdanost strojeva, općenito stanje proizvodne opreme i infrastrukture, trajanje pripremno-završnih vremena i drugi problemi koji bi mogli otežavati postizanje željenog stanja. Drugim riječima, za postizanje takve proizvodnje, potrebno je, osim ulaganja napora u uspješnu reorganizaciju sustava, posjedovati moderne strojeve, alate i naprave na zavidnoj tehničkoj razini. Dakle, potrebno je biti opremljen proizvodnom opremom koja će zaista moći pouzdano obavljati zadaću za koju je namijenjena i to u uvjetima rada sustava s kontinuiranom, JIT proizvodnjom. Tek će se zadovoljenjem više različitih kriterija postići zajednička harmonija. Stoga je prvenstveno potrebno da promjena bude pokrenuta od strane sposobnog i ambicioznog menadžmenta. Zatim, potrebno je da te ideje i njihovu korist za poduzeće članovi menadžmenta prenesu ostatku zaposlenika na način da ih uvjere da su promjene u poduzeću potrebne i da je to što se u poduzeću događa promjena na bolje. Na kraju je potrebno provesti te dobre zamisli u djelo, odnosno primijeniti te promjene na rad i poslovanje poduzeća. Za to je, između ostalog, potrebna i kvalitetna i pouzdana proizvodna oprema, kao i kvalificirani i vrijedni zaposlenici. [13]



Slika 10. Usporedba serijske proizvodnje i proizvodnje kontinuiranog toka [1]

#### 4.3.3. Kanban

Kanban (kartica) je sustav koji zalihe u proizvodnji želi smanjiti te ih zadržati na što nižem nivou. Samo-upravljanje tokom materijala između dobavljača i poduzeća koje preuzima robu koristi se u JIT proizvodnji. Kanban je sistem signalizacije koji koristi kartice da signalizira potrebu za materijalom.

Za razliku od centralnog upravljanja zalihama koje karakterizira istosmjerni tok materijala i informacija te plansku proizvodnju, kod Kanban-a se događa suprotan tok materijala i informacija, a proizvodnja se dešava uslijed naloga kupaca. Kanban se zasniva na vrlo jednostavnom „pull“ konceptu koji za razliku od tradicionalnog „push“ koncepta ne gura robu u proces sve do trenutka dok stvarno nije potrebna (Slika 11.).

Pomoću Kanban – sustava nastoji se na svim proizvodnim razinama postići “proizvodnja na zahtjev“. Impuls za izdavanjem materijala ne odašilje se sa centralnog mjesta planiranja, već automatski tek onda kada dođe signal koji javlja potrebu za dodatnim materijalom.

Preduvjeti za kanban:

- Primjenjiv je u proizvodnji koja se ponavlja
- Sustav mora biti stabilan
- Strojevi moraju biti visoko pouzdani (važno je kvalitetno održavanje)
- Standardizirani procesi i operacije

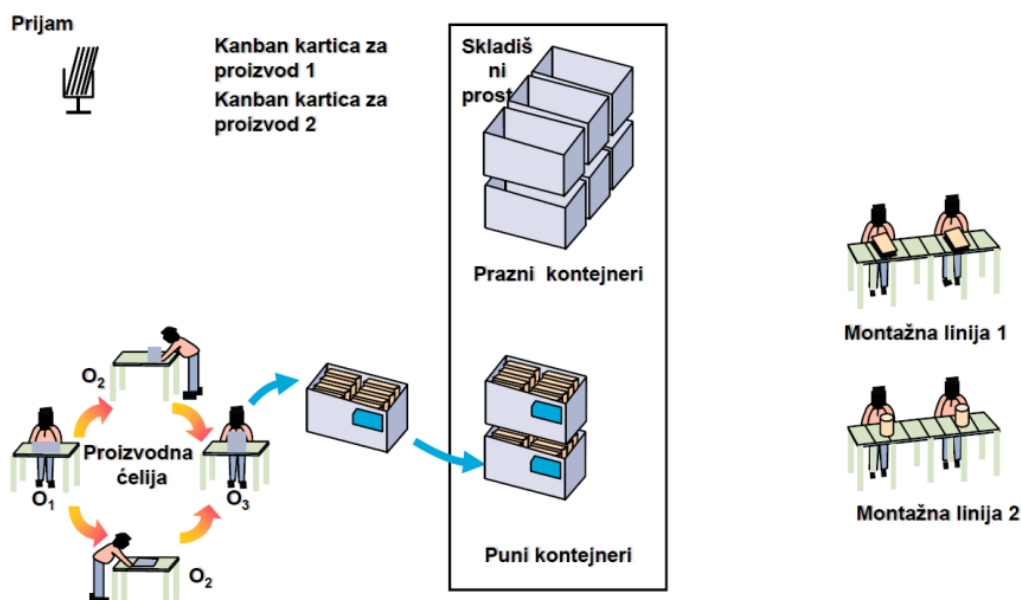
- Pouzdani dobavljači
- Velika angažiranost i stručnost radnika
- Potrebna stalna ulaganja u smanjenju vremena namještanja alata -SMED (zbog malih serija)

Kanban sustav uključuje:

- Što se povlači?
- Kada se povlači?
- Koliko se povlači?
- Otkuda se povlači?

Kanban kartica može biti bilo koji oblik informacije (papirnat ili elektronski) uz uvjet da korisnik može zapisivati informaciju o potrebi i utrošku materijala. Sadržaj kartice uključuje podatke koji se odnose na:

- Informacije o dijelovima i količinama
- Informacije o skladištenju i potrebama
- Korisničke podatke [14]



Slika 11. Kanban princip povlačenja [1]

#### 4.3.4. Andon

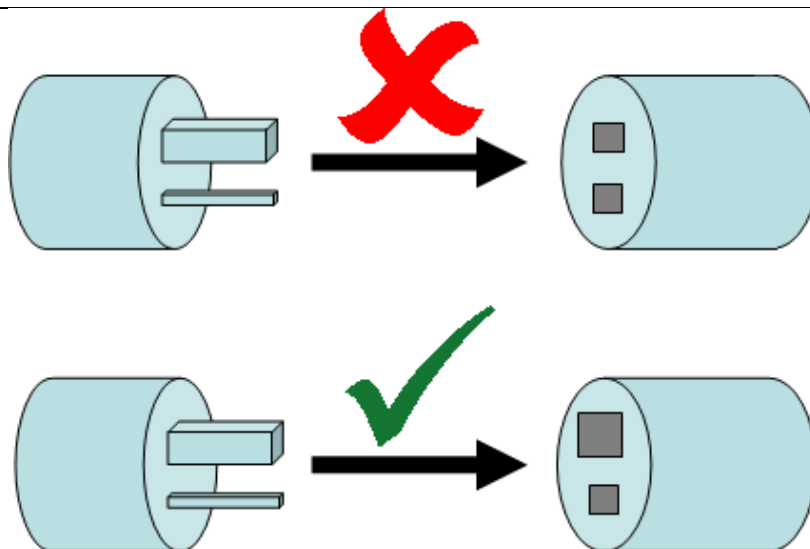
Andon je jedan od lean alata koji se svrstava u grupu alata za vizualnu kontrolu. Taj dio lean-a se odnosi na vizualizaciju nekih mjesta u proizvodnji kako bi se izbjegle greške. Kod vizualne kontrole je bitno to da se radni prostor opremi opremom koja će zaposlenicima davati različite znakove koji će njima značiti razne upute pri radu. Uobičajeni znakovi vizualne kontrole uključuju znakove obavještanja, oznake zaštite, naljepnice te razne oznake u bojama. Kod Andona je to elektronska ploča koja omogućava vidljivost statusa radnih mjesta, kao i informacije koje pomažu u povezivanju radnih centara putem signalnih svjetala: zeleno (za “radi”), crveno (za “ne radi”) i žuto (za “potrebna pažnja”) (Slika 12.). [15]



Slika 12. Andon signalizacija

#### 4.3.5. Poka-Yoke

Poka-yoke je još jedan od lean alata koji je zaslužan za neprekidna mala poboljšanja, odnosno zadužen je za dokazivanje grešaka, tj. za smanjenje otpada. Dokazivanje grešaka jedna je od najbitnijih aktivnosti za otkrivanje i eliminaciju grešaka na samom njihovom izvoru. Cilj dokazivanja grešaka je ili sprječavanje uzroka defekata u proizvodnji ili osiguranje da svaki proizvod može biti ispitan unutar troškovno efektivnih okvira, tako da niti jedan defektni proizvod ne napusti taj dio procesa i krene u sljedeći (Slika 13.). [15]



Slika 13. Poka-Yoke princip [17]

#### 4.3.6. 6S proces

5S je izvorna japanska filozofija i može se ukratko reći da je u pitanju takvo uređivanje poslovnih prostora da se postigne njihovo optimalno prilagođavanje procesima, uz stalna unapređenja, promoviranja i postizanja višestrukih koristi. Primjenom 5S-a se postiže povećana sigurnost i povećana efikasnost. 5S ima 5 koraka koje je potrebno uvesti, a zadatak zadnjeg je da se ova prva 4 koraka održavaju na zadanoj razini kvalitete. U novije vrijeme prvotnih 5 koraka se dodao još jedan, a to je sigurnost (Slika 14.).



Slika 14. 6S princip



6S je metodologija organizacije, čišćenja, razvoja i održavanja produktivne radne okoline što je zapravo osnova lean proizvodnje. Iza 6S razmišljanja stoji zapravo da čisti radni prostor osigurava veću učinkovitost i veće zadovoljstvo koje se postiže urednijom radnom okolinom.

Koraci pri provođenju 6S principa:

**a) Seiri – Sort – sortiranje**

Potrebno je identificirati sve stvari nepotrebne za rad, odnosno proizvodnju i eliminirati ih iz radnog prostora. Odabrati alat neophodan za rad, alat i materijale koji nisu često korišteni smjestiti u zasebna spremišta, stvari koje se uopće ne koriste baciti.

**b) Seiton – Straigheten – red**

Stvari koje koristimo trebaju biti sistematski posložene, tako da ih možemo jednostavno koristiti i da ih svatko može lako pronaći. Stvari moramo organizirati tako da svaki predmet ima određeno mjesto gdje pripada. Sljedeće smjernice će zasigurno minimizirati uzaludno kretanje zaposlenika:

- često korišten alat mora biti smješten u blizini mjesta gdje se koristi
- alati koji se koriste zajedno, moraju biti i smješteni zajedno
- alat treba biti spremljen prema onom redoslijedu kojim se i koristi
- Etiketiranje - bez označavanja se vrlo lako zaboravlja gdje stvari stoje
- Ergonomija - često korišten alat treba biti smješten na lako dostupnom mjestu i da se izbjegne nepotrebno saginjanje, istezanje ili pretjerano hodanje

Stvari kasnije treba biti jednostavno vratiti na njihovo mjesto – posebno je bitno da označavanje bude razumljivo i jednostavno. Često korištena oprema, alat i materijali i njihova mjesta odlaganja i skladištenja moraju biti jasno označeni.

**c) Seiso – Scrub – čišćenje**

Stvari i radni prostor treba održavati i čistiti. Otpad i prljavština na radnom prostoru su neprihvatljivi i zato nije dovoljno jednom očistiti i urediti radni prostor i pribor. Nužno je redovito čišćenje, obično na dnevnoj bazi, jer se u suprotnom sve vraća na staro.

**d) Seiketsu – Standardize – standardizacija**

U ovom koraku uspostavljamo standardne rutine i pretvaramo ih u navike. Jedan od najvećih problema je kako izbjeći vraćanje starim navikama. Za početak je dobro postaviti pisane standarde i procedure na plakatima (uočljivi natpisi)

### e) Shisuke – Sustain – samodisciplina

Sustain ili samodisciplina je najkompleksniji zadatak jer nije dovoljno povremeno počistiti radno mjesto kako bi odali dojam organizacije i čistoće, već je potrebno održavati taj red i prilagođavati se novonastalim uvjetima. U ovom slučaju bi samodisciplina bila u tome da se stroj za kojeg je mjesto označeno nakon svakog korištenja vrati na zadano mjesto.

### f) Safety – Sigurnost

Potrebno je biti svjestan svih aktivnosti da se identificiraju i uklone opasnosti koje bi potencijalno mogle ugroziti radnika, kako bi se stvorilo radno mjesto bez mogućnosti nezgoda i ozljeda. [1]

6S nije zamišljen kako bi lijepo organizirao i označio alate i materijale i pobacao otpad kako bi se radionički pod sjajio. 6S služi kako bi cijela proizvodnja nesmetano funkcionirala i kako bi se organizirao lagani i besprijekorni tok (*flow*) u taktu proizvodnje. 6S je također još jedan u nizu alata koji služe kako bi se uklonili otpadi, a problemi izgurali na svjetlo dana.

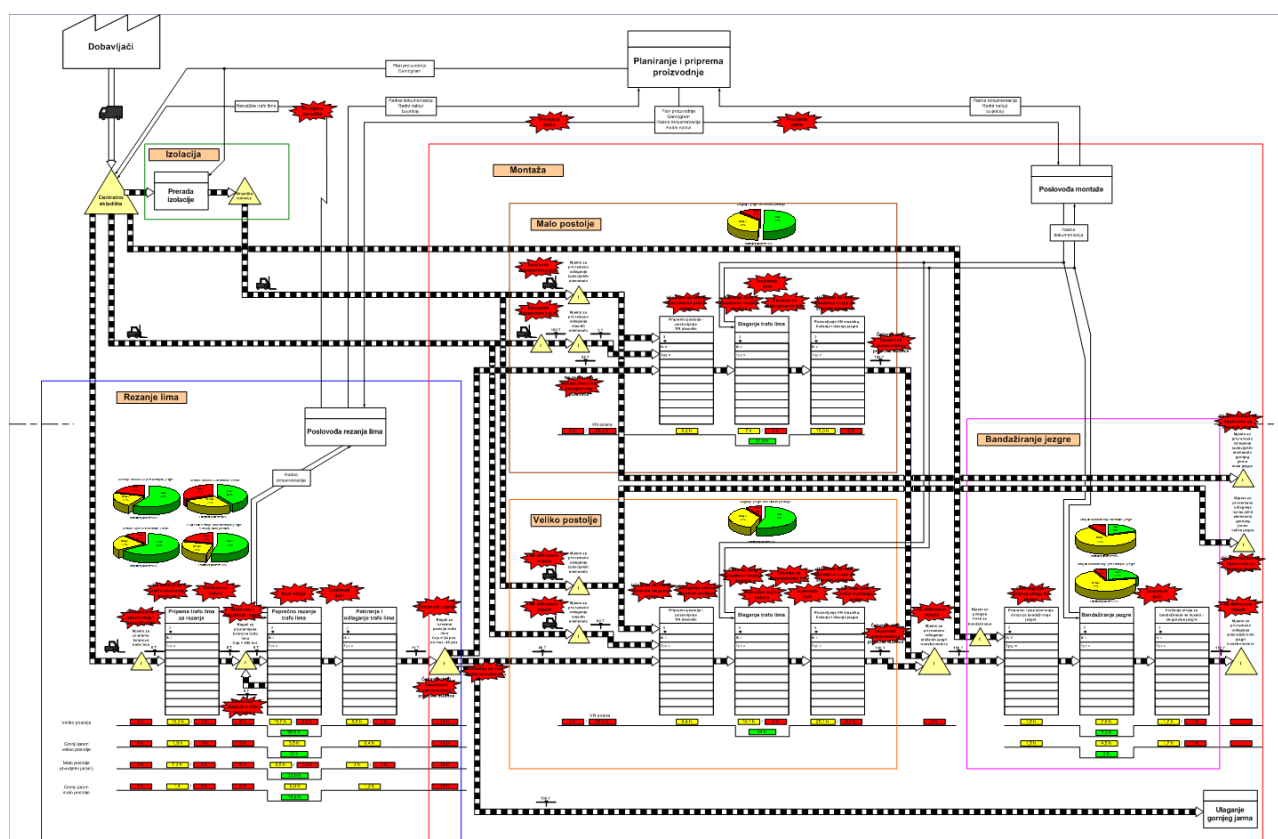
#### 4.3.7. Mapiranje toka vrijednosti (VSM)

Mapiranje proizvodnog procesa je set metoda koje vizualno objašnjavaju tok materijala i informacija kroz proizvodni sustav. U Lean terminologiji tok informacija i materijala nazivamo tok vrijednosti (*Value stream*). Tok vrijednosti je tok svih aktivnosti, dakle onih koje dodaju vrijednost završnom proizvodu kao i onih koje ne dodaju vrijednost (gubici), a koje su potrebne da se ispune zahtjevi. Cilj mapiranja je da se uoče aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu i one aktivnosti koje ne dodaju direktno vrijednosti proizvodu. Mape toka vrijednosti prikazuju realno stanje sustava, a ne idealne uvjete odvijanja proizvodnih procesa. Mapiranje se vrši i zbog smanjivanja proizvodnog ciklusa i lakšeg pronalaženja mjesta za unapređenje proizvodnje.

Mape toka vrijednosti su crteži koje vizualiziraju tok materijala i tok informacija. Postoje dvije vrste mapa. Prva je mapa trenutnog stanja koja opisuje procese kakvi jesu, druga je karta budućeg stanja koja opisuje idealno stanje zasnovano na primjeni lean metoda i tehnika u poduzeću. Mapiranje se vrši kako bi se lakše sagledao cjelokupan proizvodni sustav a ne samo jedna operacija (i njena optimizacija). Kada se napravi mapiranje lako je uvidjeti tok predmeta rada kroz proizvodni proces, a zatim i uvidjeti mane i potencijalne probleme.

Mapiranje toka vrijednosti je zapravo kaizen tehnika i to dvije vrste kaizena. Prvi kaizen je kaizen toka (unapređenje toka vrijednosti), a drugi kaizen procesa (eliminacija gubitaka u proizvodnji koji se fokusira na rad radnika i sam tok proizvodnog procesa).

Lean implementacija uključuje analizu kompletnog lanca toka vrijednosti određenog proizvoda, dakle od dobavljača, preko proizvodnje pa sve do centara za distribuciju. Lanac toka vrijednosti obuhvaća sve korake i aktivnosti koje su na bilo koji način vezane za proces kroz koji prolazi određeni proizvod (Slika 15.).



Slika 15. Primjer mapiranja toka vrijednosti [19]

Mapiranje toka vrijednosti provodi se u sljedeća četiri koraka:

- Odabir familije proizvoda,
- Crtnanje trenutnog stanja,
- Crtnanje budućeg stanja,
- Plan rada i primjene (tj. postizanje budućeg stanja)

Mapiranje toka vrijednosti iznimno je značajan alat jer:

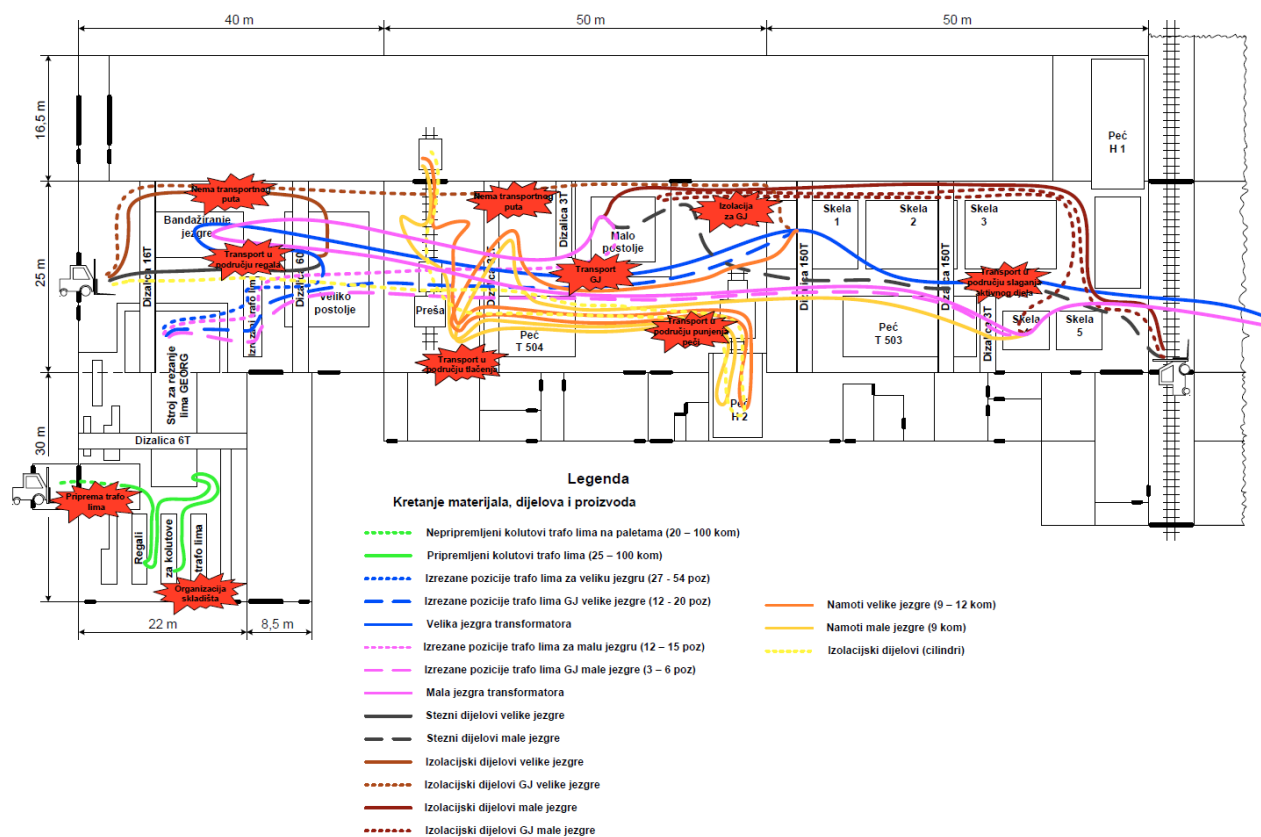
- pomaže pri vizualizaciji toka materijala i informacija u cjelokupnoj proizvodnji, a ne samo na razini jedne operacije (npr. zavarivanja, montaže itd.)
- pomaže u otkrivanju gubitaka i njihovih uzroka
- prepoznatljiv je na svakom jeziku svijeta
- skreće pozornost na neke elemente procesa koji su dotad bili zanemareni
- stvara temelje za provedbeni plan i olakšava planiranje budućeg stanja proizvodnog procesa
- jedini je alat koji pokazuje poveznicu između toka materijala i toka informacija
- drugi alati uglavnom skreću pozornost na kvantitativne vrijednosti kao što su vodeće vrijeme, prijeđeni put, količina zaliha itd., a mapa toka vrijednosti ukazuje na to što je potrebno učiniti kako bi se te brojke optimirale
- u konačnici, zbog svega navedenoga, olakšava primjenu leana [12]

#### 4.3.8. Špageti dijagram

Špageti dijagram je vizualni prikaz putanje predmeta ili aktivnosti kroz proces koristeći neprekidnu liniju toka. Neprekidna linija toka omogućuje identifikaciju viškova u toku rada i mogućnosti ubrzanja toka procesa. Špageti dijagram detaljno prikazuje tok, udaljenost i vrijeme čekanja transporta materijala u procesu. Također pomoću špageti dijagrama se prate šablone hodanja ljudi, kretanje materijala naprijed i nazad između zadataka i radnih mjesta. To je alat koji pomaže u redukciji gubitaka u transportu, kretanju i vremenu čekanja (Slika 16.).

Prednosti primjene špageti dijagrama:

- Identifikacija neučinkovitosti u radnom prostoru
- Identifikacija gubitaka u transportu, kretanju
- Redukcija aktivnosti koje ne doprinose vrijednosti
- Unaprijeđenje efikasnosti i redukcija umora zaposlenika zbog nepotrebnih kretanja
- Identifikacija mogućnosti za unaprijeđenje sigurnosti [20]



Slika 16. Primjer špageti dijagrama [19]

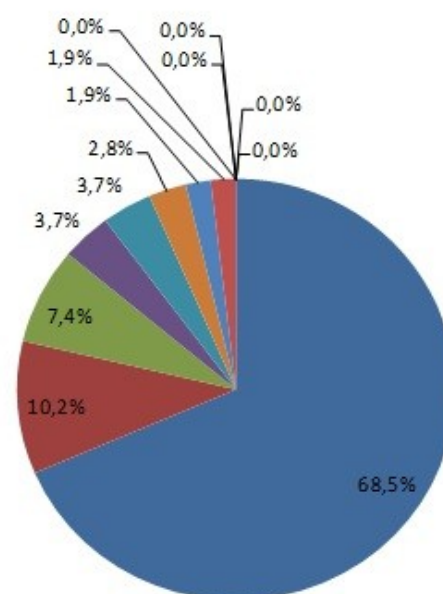
#### 4.3.9. Multi moment study

Statistički alat za određivanje udjela vremena koje radnici provode u različitim definiranim kategorijama aktivnosti. Primjena multi moment analize omogućuje brzu analizu, prepoznavanje i unaprijeđenje radnih dužnosti, zadaća i organizacijskog toka rada.

U multi moment analizi, izvodi se veliki broj snimanja određenog postrojenja tijekom produženog vremenskog razdoblja. Zbog statističke preciznosti, snimanja se moraju napraviti pri nasumičnom vremenu tijekom razdoblja studije, a razdoblje mora biti reprezentativno za tipove aktivnosti koje izvode radnici (Slika 17.).

Jedna važna upotreba multi moment analize je određivanje standardnog vremena za izvođenje određene aktivnosti u procesu proizvodnje. [21]

Opažanje	Broj	Relacija
Dodirivanje proizvoda	74	68,5%
Inspekcija	11	10,2%
Pauza	8	7,4%
Dokumentacija	4	3,7%
Čekanje	4	3,7%
Hodanje	3	2,8%
Promjena alata	2	1,9%
Pričanje	2	1,9%
Upravljanje strojem	0	0
Čišćenje	0	0
Sastanak	0	0
Odsutan	0	0
Drugo	0	0
<b>Total:</b>	<b>108</b>	<b>100,0%</b>



Slika 17. Primjer rezultata multi moment studije

#### 4.3.10. Standardizirani rad

Standardizirani rad je alat baziran na ljudskom pokretu, koji kombinira elemente rada u najefektivnijem redosljedu s minimalnim gubicima da bi se postigla najefikasnija moguća razina proizvodnje pri trenutnim uvjetima. [22]

Standardizirani rad je jedan od temeljnih koncepata Lean razmišljanja. To je jednostavno skup pravila da se na najefikasniji poznat način da izvrši određeni proces ili zadatak. Standardizirani rad podrazumijeva pretvaranje koraka procesa u niz pojedinačnih zadataka u kojim se minimiziraju aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i koji se izvršavaju prema određenom redosljedu. Pravilno formuliran standardizirani rad pruža proizvod i uslugu visoke kvalitete kupcu kada mu je potrebna, na siguran i efikasan način, bez greške. Kako bi se izvršio standardizirani rad, proces mora biti prilagođen korisniku.

Ljudi toleriraju promjenu, ali se često sa onog „što je ispravno“, njihov rad svodi na „ono na što su navikli“. Iz ovog razloga, standardizirani rad mora biti dio svakog projekta poboljšanja.

Standardizirani rad smanjuje varijaciju u procesu. Ako ljudi rade posao svako na svoj način, odnosno ako koriste različite procese, razumljivo je da će na izlazu dobiti različite rezultate i veliku varijaciju u procesu.

Standardizirani rad je jedan od osnovnih lean alata koji se fokusira na kretanje i rad operatera. Primjenjuje se u proizvodnom okruženju s ponavljajućim procesima i prvenstveno se koristi za eliminaciju rasipanja.

Tako jasno definirane operacije dopuštaju proizvođačima primjenu najbolje prakse u proizvodnim procesima. Standardizirani rad također osigurava osnovu za neprekidno napredovanje jer dokumentirani procesi mogu jednostavno biti analizirani i poboljšani. [23]

#### *4.3.10.1. Zahtjevi za primjenu standardiziranog rada*

Da bi standardizirani rad funkcionirao najefektivnije, trebaju biti ispunjeni neki zahtjevi do neke razine:

- a) Standardizirani rad se treba bazirati na ljudskom pokretu i treba sadržavati rad s ponavljajućim cikličkim redoslijedom
- b) Oprema i strojevi s minimalnim kvarovima i minimalna odstupanja u radu opreme ili proizvodnoj liniji
- c) Visoka kvaliteta procesa i dijelova

Jedan od glavnih uvjeta pri uspostavljanju standardiziranog rada je da treba biti usmjeren oko ljudskog pokreta. Središnji objekt promatranja standardiziranog rada je rad operatera, ne strojeva.

Teško je uspostaviti nekakav standard ako zadatak nije izvršen na isti način svaki put. Ako su pokreti različiti u svakom ciklusu, ili ako se radni uvjeti konstantno mijenjaju, standard neće više funkcionirati kao temelj za usporedbu. Pošto se proizvodnja sastoji od ponavljanja istih radnji, svaka radnja se može standardizirati. Samo kad je pokret ponavljajući, siguran i dosljedan, standardizirani rad se može iskoristiti za postizanje maksimalne koristi.

Većina posla u proizvodnji se sastoji od radnika u kombinaciji s automatiziranom, cikličkom opremom. Pošto standardizirani rad funkcionira najbolje u ponavljajućem ciklusu, kritično je da oprema funkcionira ispravno skoro cijelo vrijeme. Kada je oprema izvan

funkcije, prekida se prirodni tok kretanja i prekida se normalna šablona redoslijeda rada. Da bi se osiguralo postizanje maksimalne koristi od standardiziranog rada, važno je odrediti uzroke zaustavljanja rada strojeva i spriječiti njihovu ponovnu pojavu.

Slična situacija je i s kvalitetom dijelova. Ako neispravni dijelovi konstantno zaustavljaju proizvodnu liniju, jako je teško održati konstantan ponavljajući redoslijed rada. Neispravni dijelovi nastali tijekom proizvodnje ili neispravni dijelovi izvan proizvodnje, mogu igrati veliku ulogu u remećenju prirodnog toka kretanja i spriječiti postizanje maksimalne koristi standardiziranog rada. Uzroci problema s kvalitetom trebaju biti marljivo istraženi i pažljivo riješeni kad se standardizirani rad implementira. [24]

#### 4.3.10.2. Elementi standardiziranog rada

Tri osnovna elementa standardiziranog rada su:

- a) Taktno vrijeme,
- b) Redoslijed standardiziranih operacija i
- c) Standardizirane zalihe

Taktno vrijeme je frekvencija kojom je pojedinačan proizvod proizveden. Takt je uveden kako bi se točno odredio i nadgledao ritam proizvodnje proizvoda na različitim dijelovima proizvodnog pogona. U lean proizvodnji, takt svakog proizvodnog procesa je aktivno vođen i kontroliran, kako bi se omogućio neprekidan tok.

Redoslijed standardiziranih operacija predstavlja točan redoslijed operacija koje radnik mora poštivati. On mora poštivati i standardizirane pokrete. Ovo je precizno specificirano iz razloga kako bi svi radnici obavljali posao slično. Na taj se način smanjuje varijacija u procesu, a samim tim i škart. Idealno procedure bi trebale ići u detaljizaciju pokreta ruku.

Standardizirane zalihe predstavljaju potreban minimum zaliha koji nadoknađuje eventualni diskontinuitet u proizvodnji i omogućava konstantni neprekidni tok. [25]

#### 4.3.10.3. Koraci pri provođenju standardiziranog rada

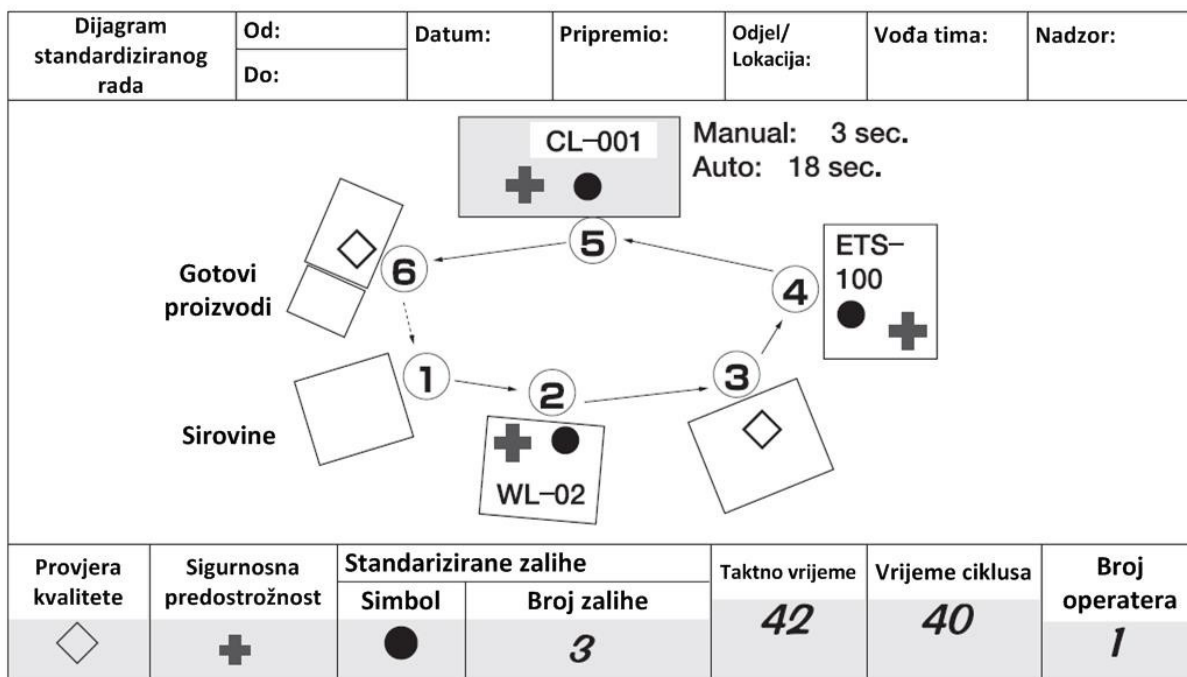
Implementacija standardiziranog rada obuhvaća pet koraka: [26]



## a) Ocjena trenutnog stanja

Da bi se provela implementacija standardiziranog rada potrebno je razumijevanje trenutnog stanja procesa, a najbolji način za razumijevanje trenutnog stanja procesa je izravno promatranje. Postoji nekoliko formulara kojima se ostvaruje ocjena trenutnog stanja, a to su:

- dijagram standardiziranog rada



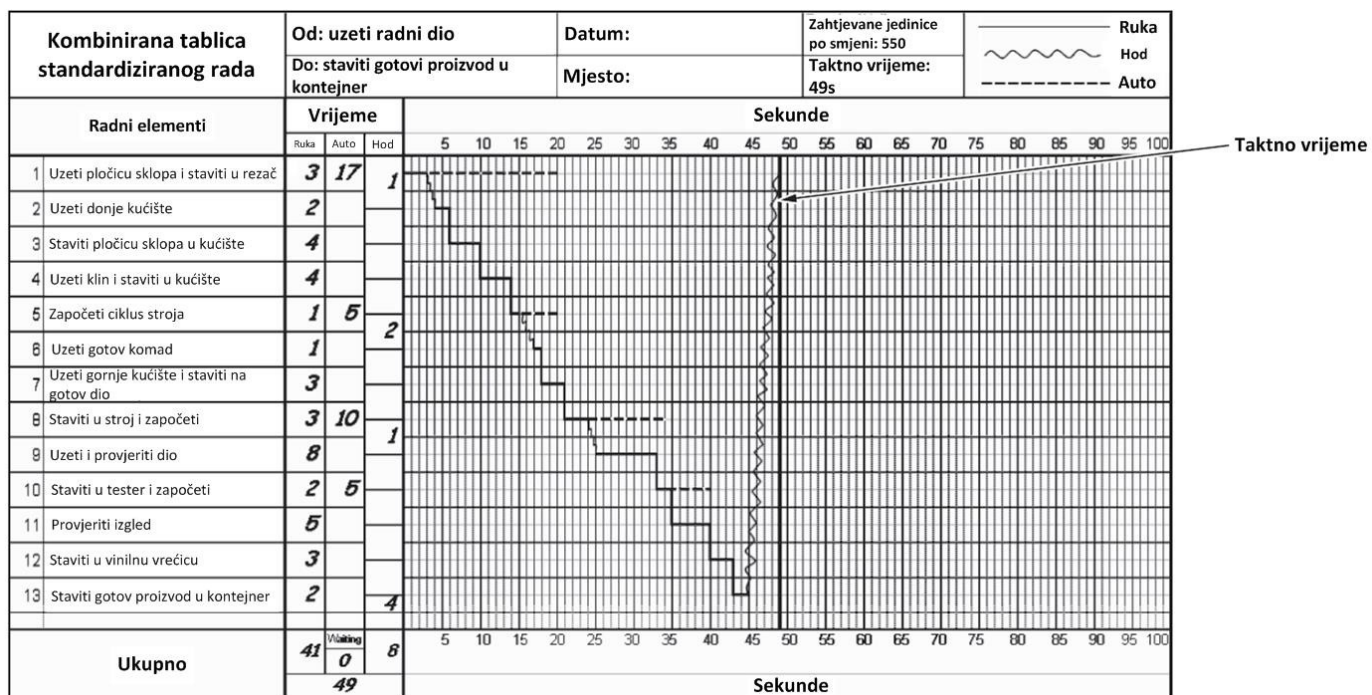
Slika 18. Dijagram standardiziranog rada [27]

- list studije trajanja procesa

Studija procesa	Proces: Završni sklop #7	Proizvod: DV-020332	Promatrač:	Datum/vrijeme: April 18, 2007 14:00	Stranica: 1/3									
Koraci procesa	Radni element	Radnik										Ponavljanje	Vrijeme ciklusa stroja	Zabilješke
		Promatrana vremena												
Sklop 1	Uzeti bazu i staviti u steznik	4	5	6	3	4	4	4	4	5	4	4		Baza udaljena
	Uzeti pero i staviti u steznik	6	8	10	15	9	10	10	7	11	10	10		Steznik nestabilan
	Staviti steznik u stroj	2	2	1	2	2	3	2				2		
	Ciklus stroja	1	1	1								1	6	Radnik čeka
	Ukloniti	2	2	2	1	2	2					2		
	Provjeriti izgled i spremi	8	11	8	20	7	8	9	9	9	8	8		Provjera nestabilna
	Ukupno											27		

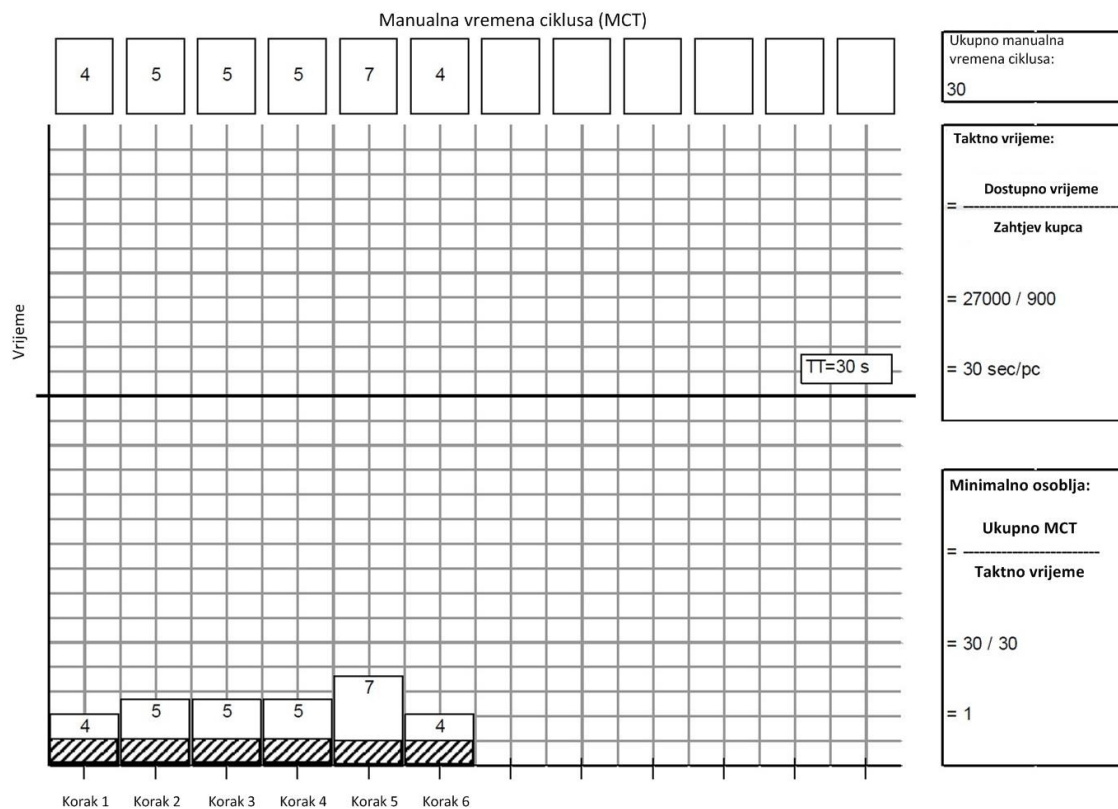
Slika 19. List studije trajanja procesa [27]

- kombinirana tablica standardiziranog rada



Slika 20. Kombinirana tablica standardiziranog rada [27]

- dijagram opterećenja



Slika 21. Dijagram opterećenja [26]

## b) Utvrđivanje područja pogodnih za poboljšanje

Postoji mnogo načina za utvrđivanje područja pogodnih za poboljšanje kao što su 7 tipova otpada, špageti dijagrami, VSM itd. Ove metode ističu korake u procesu koji se mogu eliminirati ili modificirati.

## c) Modifikacija postojećeg procesa

## d) Nabrojati unaprijeđenja

Nakon što su prilike identificirane, primjene u procesu rada mogu biti testirane, ocjenjene i odabrane. Unaprijeđenja se trebaju izmjeriti u živom okruženju radi potvrde da zaista funkcioniraju.

## e) Implementacija novog standardiziranog rada

Novi standardizirani rad se na kraju može dokumentirati i implementirati pomoću lista s instrukcijama za posao

List s instrukcijama za posao		Dio <i>26-0012</i>		Zahtjevana količina <i>550</i>	Datum April 26, 2007	Odjel/Lokacija		Vođa tima	Nadzor
		Naziv dijela Sklop bazne jedinice				Pripremio			
#	Korak	Provjera kvalitete		Bilješka	Vrijeme	Taktno vrijeme	Vrijeme ciklusa	STD WIP	◆ Kvaliteta
		Uzimanje uzorka	Alat			<i>42</i>	<i>40</i>	<i>3</i>	⊕ Sigurnost
1	Uzeti radni dio i učvrstiti			S lijevom i desnom rukom	<i>1</i>				
2	Ukloniti gotovi i postaviti novi				<i>2</i>				
3	Provjeriti izgled	<i>1/1</i>	Klizini mjerač		<i>12</i>				
4	Ukloniti gotovi i postaviti novi			Očistiti glavu za svaki ciklus	<i>14</i>				
5	Ukloniti gotovi i postaviti novi			Osigurati smjer	<i>3</i>				
6	Provjeriti izgled i staviti u kontejner	<i>1/1</i>	—	Provjeriti obje strane	<i>8</i>				
Ukupno					<i>40</i>				

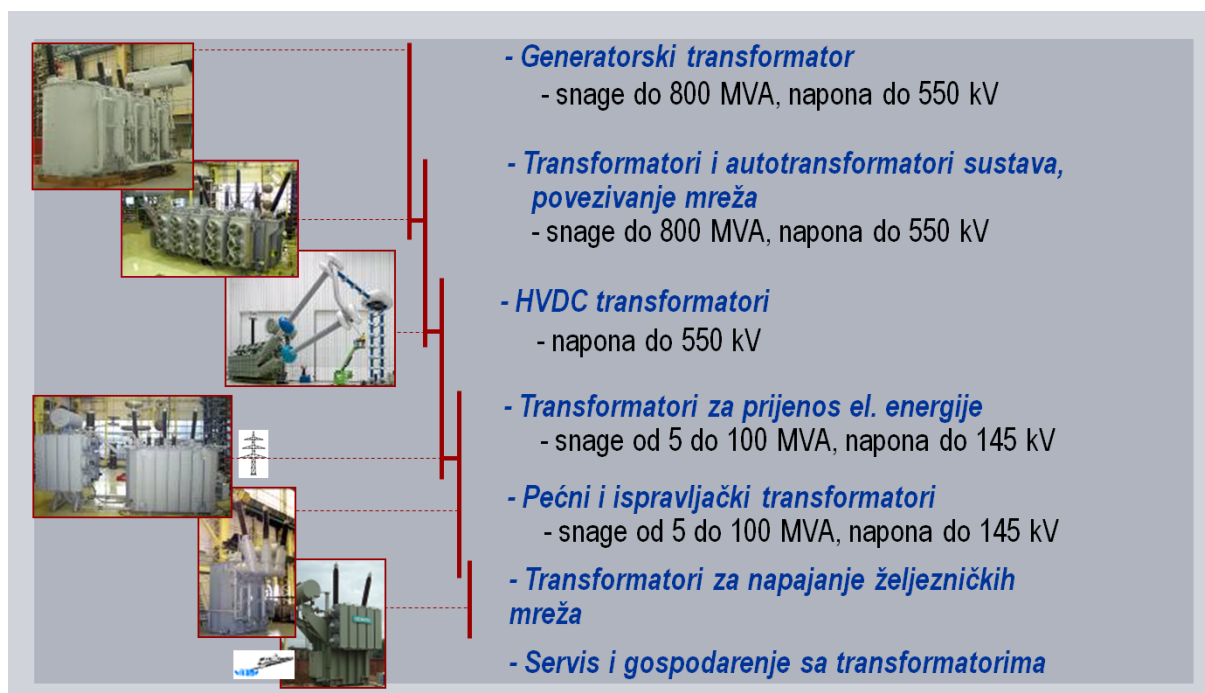
Slika 22. List s instrukcijama za posao [27]

## 5. KONČAR - ENERGETSKI TRANSFORMATORI

### 5.1. Povijest i razvoj Končara

"Končar- Energetski transformatori" d.o.o. (KPT) je vrlo dinamična, dobro organizirana i izvozno orijentirana tvrtka. Zajedničko je društvo "Siemens AG" i "Končar - Elektroindustrija" d.d. KPT je jedan od vodećih proizvođača energetskih transformatora u Siemens grupi transformatora s izvozom preko 95% proizvoda u više od 80 zemalja svijeta.

Proizvodnja transformatora utemeljena je 1945. godine u okviru poduzeća Rade Končar. 1947. proizveden je prvi transformator snage 5000 kVA i napona 35 kV, a 1949. i prvi generatorski transformator snage 50 MVA i 110 kV. Godine 1966. proizvodnja energetskih transformatora započeta je u novoizgrađenoj tvornici u industrijskoj zoni zapadnog dijela Zagreba u Jankomiru, što je omogućilo ostvarenje proizvodnje energetskih transformatora snage do 400 MVA i napona do 550 kV za domaće i strano tržište. Dogradnjom tvornice 1983. godine dobivena je tehnološka mogućnost proizvodnje energetskih trofaznih transformatora do 1000 MVA i 550 kV. Do sada najveći izrađeni trofazni generatorski transformatori snage 725 MVA i 420 kV isporučeni su 1985. (Slika 23.)



Slika 23. KPT proizvodni program [19]

Većina transformatora teži više od 500 t što je više od 300 automobila, visine su i do 10 metara, sastoje se od više od 12 000 različitih dijelova te im se cijene penju i do 4 000 000 €.

U razdoblju od 1991. do 1995. godine KPT djeluje kao neovisno društvo unutar grupe Končar, u vlasništvu koncerna Končar Elektroindustrija d.d. U tom razdoblju KPT zapošljava oko 250 zaposlenika. Od 1.1.1995. KPT postaje mješovito društvo s ograničenom odgovornošću između Siemens AG kao većinskog vlasnika i Končar- Elektroindustrije d.d.

Tvrtka od 2010. zapošljava 505 radnika i najbolji su dio Končar Grupe, a ujedno i najveći hrvatski izvoznik.

1998. pojavili su se ovi uvjeti na tržištu:

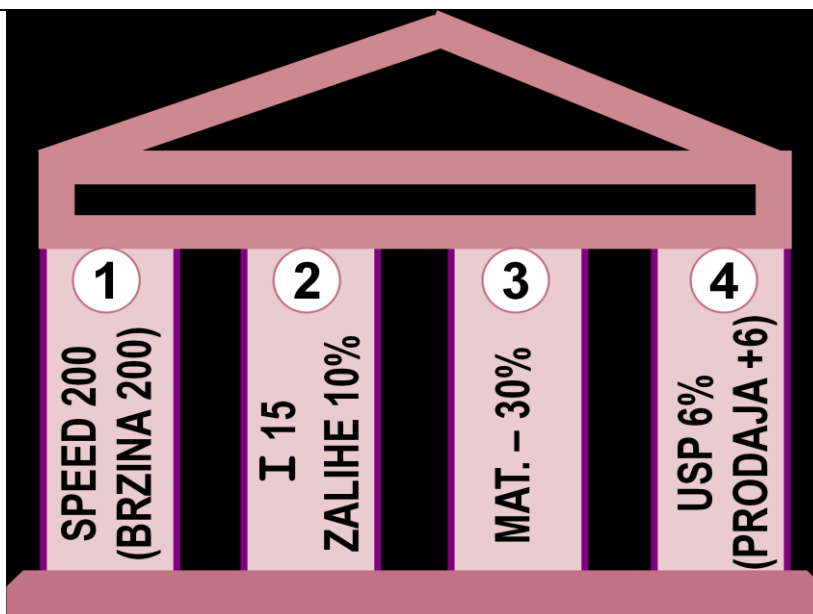
- Pad potražnje za elektroenergetskom opremom
- Jačanje konkurencije (novi igrači na tržištu)
- Smanjenje cijena transformatora
- Cijene konkurencije manje 10 – 20%

te je tvrtka morala biti odlučna u promjeni i analizi svog poslovanja te je postavljen cilj smanjenja troškova za 30% uz:

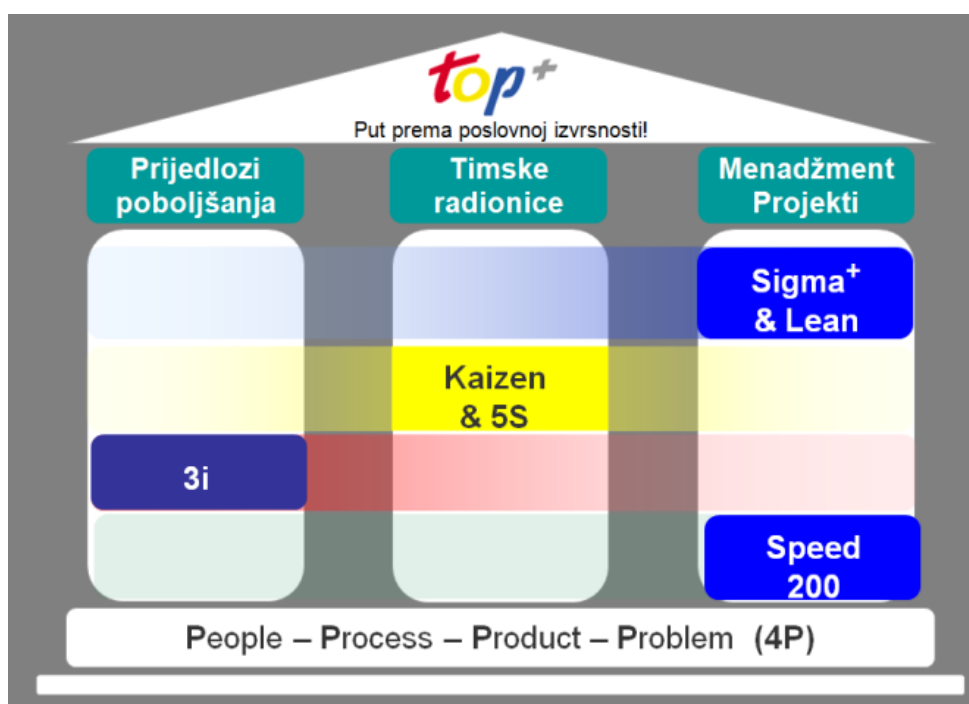
- Povećanje produktivnosti
- Smanjenje troškova procesa, kapitala i materijala

Početak provođenja uz postavljene uvjete podsjećao je na LEAN kuću (Slika 25.) koju su u KONČARU nazvali projekt “TEMPEL” (Slika 24.) te je prikazivala sljedeće ciljeve:

- Povećanje brzine protoka 2 puta (u svim segmentima)
- Odnos kapitala (bez zgrada i zemljišta) i prodaje £ 0,15
- Vrijednost ukupnih zaliha 10% u odnosu na prodaju
- Smanjenje troškova materijala 30% (u tri godine)
- Povećanje prodaje 6% godišnje [19]



Slika 24. Projekt TEMPEL [19]



Slika 25. Lean kuća [19]

U razvoj, modernizaciju tehnologije i veće proizvodne kapacitete, u razdoblju od 2005. do 2010. uloženo je vlastitih 285 milijuna kuna.

U sklopu tih investicija izgrađena je i nova ispitna stanica sa aneksom. Izgradnja ispitne stanice je započeta 15.3.2006., a puštena je u pogon 27.8.2007. (Slika 26.)



**Slika 26. Prvo ispitivanje transformatora [28]**

U tablici 2. su prikazani osnovni podaci o ispitnoj stanici

**Tablica 2. Osnovni podaci o ispitnoj stanici**

Visina	30 (25) m
Širina x Dužina	33x38 (30x35) m
Čelična konstrukcija	410 t
Količina betona	1800 m <sup>3</sup>
Površina izo panela	3300 m <sup>2</sup>
Površina mreže kaveza	5400 m <sup>2</sup>
Armatura	165 t
Investicija - ukupno	~ 50 mil. kn

## 5.2. Ispitivanje energetskih transformatora

Ispitivanja energetskih transformatora se provode u svrhu potvrde specifikacija i performansa električnog transformatora.

Ispitivanja se prema mjestu ispitivanja dijele na:

- a) ispitivanja provedena u tvornici koja se dijele na:
  - tipska ispitivanja
  - rutinska ispitivanja
  - specijalna ispitivanja
- b) ispitivanja provedena na terenu koja se dijele na:
  - ispitivanja prije puštanja u pogon
  - periodička ispitivanja stanja
  - interventna ispitivanja [29]

### 5.2.1. Tipska ispitivanja

Da se dokaže da transformator udovoljava specifikacijama kupca i konstrukcijskim očekivanjima, transformator mora proći kroz različita ispitivanja. Tipska ispitivanja se provode za potvrdu osnovnih konstrukcijskih zahtjeva tog transformatora. Ta ispitivanja se najčešće provode na prototipu tj. reprezentativnom primjerku ostalih transformatora, ne na svim proizvedenim transformatorima tj. tipska ispitivanja potvrđuju glavne i osnovne kriterije za cijelu grupu transformatora.

Tipska ispitivanja uključuju:

- a) Mjerenje djelatnih otpora namota (u svim položajima i fazama)
- b) Mjerenje prijenosnog omjera i provjera grupe spoja
- c) Mjerenje napona kratkog spoja i gubitaka tereta
- d) Mjerenje gubitaka i struje praznog hoda
- e) Mjerenje otpora izolacije
- f) Dielektrična ispitivanja
- g) Pokus zagrijavanja
- h) Ispitivanje regulacijske sklopke pod opterećenjem
- i) Vakuumska ispitivanja kotla [29]



### **5.2.2. Rutinska ispitivanja**

Rutinska ispitivanja se najčešće provode za potvrdu radnih performansa svakog transformatora posebno. Provode se na svakom proizvedenom transformatoru iz grupe.

Rutinska ispitivanja uključuju:

- a) Mjerenje djelatnih otpora namota (u svim položajima i fazama)
- b) Mjerenje prijenosnog omjera i provjera grupe spoja
- c) Mjerenje napona kratkog spoja i gubitaka tereta
- d) Mjerenje gubitaka i struje praznog hoda
- e) Mjerenje otpora izolacije
- f) Dielektrična ispitivanja
- g) Ispitivanje regulacijske sklopke pod opterećenjem
- h) Ispitivanje transformatora na nadpritisak za provjeru curenja ulja kroz spojeve [29]

### **5.2.3. Specijalna ispitivanja**

Specijalna ispitivanja se izvode prema narudžbi kupca da se prikupe podaci korisni kupcu za vrijeme rada ili održavanja transformatora.

Specijalna ispitivanja uključuju:

- a) Dielektrična ispitivanja
- b) Mjerenje nul-impedancije trofaznih transformatora
- c) Ispitivanja kratkog spoja
- d) Mjerenje buke
- e) Mjerenje harmonika struje praznog hoda
- f) Mjerenje snage koju koriste ventilatori i uljne pumpe [29]

### **5.2.4. Opis pojedinih ispitivanja**

#### **5.2.4.1. Mjerenje otpora namota**

Mjerenje djelatnih otpora namota se provodi da bi se mogli odrediti gubici u bakru ( $I^2R$ ) i da se izračuna temperatura namota na kraju ispitivanja zagrijavanja transformatora.

Mjerenjem istosmjernog otpora namota i usporedba s konstrukcijskim izračunima se potvrđuje da je korišten vodič ispravne veličine, da su spojevi zadovoljavajući i da je dodirni otpor bilo koje regulacijske sklopke u prihvatljivim granicama.

Mjerenje se izvodi pri poznatoj temperaturi, bar 24 sata od punjenja uljem, nakon čega se rezultati korigiraju na referentnu temperaturu. Precizno mjerenje je potrebno jer se rezultati mjerenja koriste za korigiranje gubitaka tereta na referentnu temperaturu i za izračun temperature namota poslije pokusa zagrijavanja.

Otpor namota se uvijek definira kao istosmjerni otpor namota u Ohmima ( $\Omega$ ).

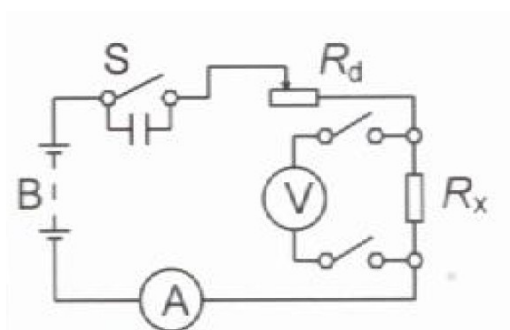
Treba napomenuti da je otpor provodnog materijala u namotu (bakar ili aluminij) jako ovisan o temperaturi.

Postoje dvije različite metode mjerenja otpora:

a) Voltmetar-ampermetar metoda

Mjerenje se provodi koristeći istosmjernu struju. Uzimaju se simultana očitavanja struje i napona. Otpor se računa iz očitavanja prema Ohmovom zakonu. Mjerenje se provodi koristeći konvencionalne analogne ili digitalne sprave za mjerenje, međutim, današnji digitalni uređaji poput DAS-a s izravnim prikazom otpora, se koriste sve više i više. (Slika 27.)

Prednost ove metode je jednostavnost ispitnog strujnog kruga. S druge strane ova metoda je neprecizna i zahtjeva simultana očitavanja dva uređaja.

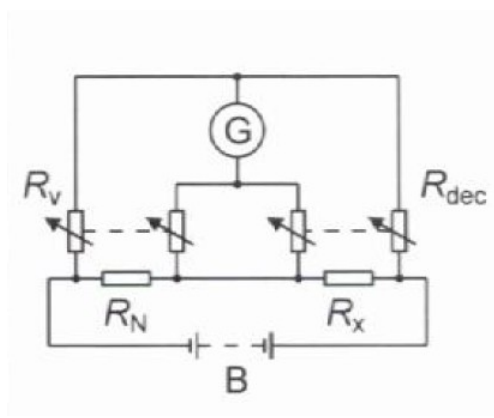


Slika 27. Shema mjernog kruga voltmetar-ampermetar metode [30]

b) Kelvin (Thompson) most

Ovo mjernje se temelji na usporedbi dva pada napona: pad napona nepoznatog otpora namota  $R_x$  i padu napona poznatog otpora  $R_N$  (standardni otpornik). Istosmjerna struja prolazi kroz  $R_x$  i  $R_N$  i odgovarajući padovi napona se mjere i uspoređuju. Most se uravnotežuje variranjem

vrijednosti dva otpornika  $R_{dec}$  i  $R_V$ , koji imaju relativno visoke vrijednosti otpora. Prednost Ove metode je visoka preciznost. S druge strane ispitni strujni krug je složeniji, i upravljanje mostom zahtjeva određeno iskustvo (Slika 28.). [29]



Slika 28. Shema mjernog kruga Kelvin-Thompson most [30]

#### 5.2.4.2. Mjerenje otpora izolacije

Izolacijski sustav većine transformatora sastoji se od izolacijskog ulja i izolacijskog papira. Ulje se može zamijeniti, a papir ostaje dok traje i transformator pa je vijek trajanja transformatora određen vijekom trajanja sustava izolacije, tj. vijekom trajanja papira u izolaciji. Molekule koje onečišćuju izolaciju, (molekule vode i ostali produkti starenja) pod utjecajem električnog polja, zakreću se u smjeru polja, tj. polariziraju se, i pri tome se u njima akumulira energija. Ovisno količini onečišćenja, za odvijanje kompletnog procesa polarizacije potrebno je određeno vrijeme (vremenska konstanta polarizacije) koje je tim kraće što je onečišćenje izolacije veće. Vrijednost otpora izolacije (engl. Insulation Resistance) dobije se mjernjem ukupne struje pri narinutom poznatom istosmjernom naponu nakon 10 minuta. Rezultati se očitavaju i nakon 15 i 60 sekundi ( $R_{15''}$ ,  $R_{60''}$ ). Otpor izolacije očitani u desetoj minuti ( $R_{10'}$ ) ovisi samo o količini vodljivih tvari u izolaciji transformatora i najbolji je pokazatelj stanja izolacije, jer je proces polarizacije u najvećoj mjeri završen. Prilikom mjerenja otpora izolacije potrebno je uzeti u obzir dva važna faktora. Prvi se odnosi na struju koja protječe kroz ili po izolaciji, a drugi faktor ovisi o vremenskom trajanju narinutog ispitnog naponu.

Ispitivanja otpora izolacije transformatora izvode se između pojedinih namota te namota i mase transformatora. Mjerenja je potrebno provoditi prema istim spojevima kao i u slučaju referentnih ispitivanja. [29]

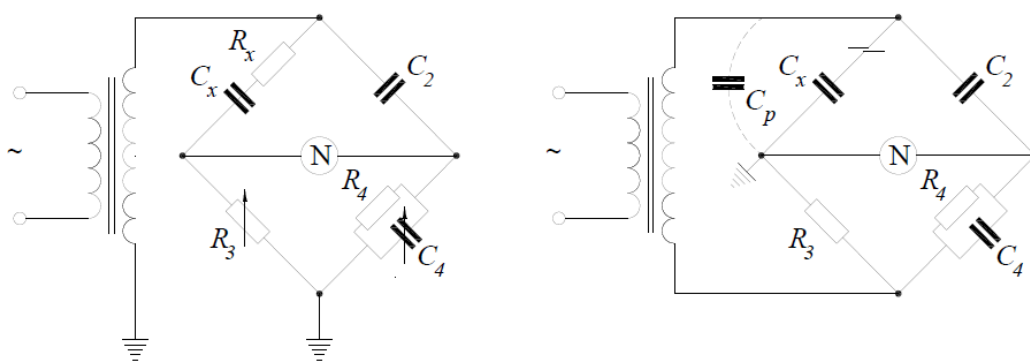
## 5.2.4.3. Mjerenje kapaciteta i kuta dielektričnih gubitaka

Tijekom vremena oprema je izložena termičkom i mehaničkom naprezanju, te utjecaju topline i vlage što povećava radnu temperaturu. Povećanje radne temperature ubrzava kemijske reakcije u električnoj izolaciji, što rezultira pogoršanjem dielektričnih karakteristika. Taj proces ima lavinski karakter, pa promjena značajki izolacije povećava faktor gubitaka i uzrokuje zagrijavanje što dovodi do daljnjeg povećanja dielektričnih gubitaka.

Faktor dielektričnih gubitaka namota pokazuje stanje izolacije sa stanovišta njene ovlaženosti i nečistoće. Izuzetno bitna informacija prilikom interpretacije rezultata mjerenja je trend promjene vrijednosti faktora dielektričnih gubitaka tijekom vremena.

Transformatori, provodni izolatori, generatori, motori, VN prekidači izrađeni su od metala i izolacije i posjeduju kapacitivne odlike. Ukoliko s vremenom dođe do promjene kapaciteta namota to može ukazivati na promjenu geometrije namota i izolacijskog sustava. Zbog loše razlučivosti predmetna metoda se ne upotrebljava za kontrolu geometrije namota.

Faktor dielektričnih gubitaka namota  $tg\delta$  ovisan je kapacitetu, otporu i frekvenciji. Izmjerene vrijednosti ne ukazuju na lokalna slaba mjesta već daju sliku o općem stanju ispitivanog transformatora. Mjerenja kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka izolacijskog sustava transformatora izvode se mjernim uređajem na principu Scheringovog mosta. Na slici 29. prikazane su načelne sheme Scheringovog mosta s uzemljenom jednom stezaljkom izvora te neuzemljenim stezaljkama. [29]



Slika 29. Shema Scheringovog mosta [30]

#### 5.2.4.4. Mjerenje prijenosnog omjera i provjera polariteta (faznog pomaka)

Svrha transformatora je da pretvaranje snage iz jednog naponskog sustava u drugi. Ova naponska veza ili prijenosni omjer, je određen brojem namotaja na visokonaponskom namotu i brojem namotaja na niskonaponskom namotu transformatora.

Svrha ovog mjerenja je osigurati da svi namoti imaju točan broj namotaja prema konstrukciji, da su montirani u pravoj orijentaciji i da su propisno spojeni kako bi omogućili tražene fazne odnose u slučaju višefaznih transformatora. Ako je transformator opremljen regulacijskom sklopkom pod opterećenjem onda se mjerenja prijenosnog omjera provode i u različitim pozicijama regulacijske sklopke. Cilj mjerenja prijenosnog omjera pri različitim položajima regulacijske sklopke (tap changer) je osigurati da su sve sklopke namota spojene na ispravnim namotajima i da su spojevi sklopki ispravno spojeni na regulacijske sklopke.

Prijenosni omjer se mjeri koristeći transformer turns ratiometer (TTR) pomoću kojeg se na transformator primjenjuje niska voltaža. Usporedba se radi između transformatora kojeg se ispituje i transformatora podesivog varijabilnog omjera koji se nalazi u mjernom uređaju. Kada su dva omjera jednaka, postigne se ravnoteža na detektoru. Visoka uzbudna struja tijekom ispitivanja može ukazivati na kratak spoj namotaja. [29]

#### 5.2.4.5. Mjerenje napona kratkog spoja i gubitaka tereta

Tijekom mjerenja gubitaka tereta i napona kratkog spoja, na visokonaponsku stranu se narine napon dok se niskonaponska strana kratko spoji. Narinuti napon se povećava sve dok se isporučena struja ne izjednači s nazivnom strujom. Gubici nastali pri ovim uvjetima su jednaki gubicima pod punim opterećenjem transformatora.

Gubici tereta su zbroj otpornih gubitaka u namotima, zalutalih gubitaka u kotlu, spojnicama jezgre i ostalim metalnim dijelovima, te gubitaka zbog vrtložnih struja u provodnicima namota. Gubici zbog otpora namota su osjetljivi na temperaturu pošto otpor namota raste s porastom temperature. Zato se rezultati mjerenja korigiraju na 75°C ili 85°C, koje su referentne temperature.

Narinuti napon potreban za protok struje u ovom ispitivanju se koristi za izračun napona kratkog spoja. Napon kratkog spoja se izražava kao postotni omjer primjenjenog napona i nazivnog napona. [29]

#### 5.2.4.6. Mjerenje gubitaka praznog hoda i struje praznog hoda

Transformator stvara gubitke praznog hoda dok god se napaja pri konstantnom naponu, 24 sata na dan, za sve uvjete opterećenja. Ovaj gubitak snage predstavlja trošak za korisnika tijekom životnog vijeka transformatora. Maksimalne vrijednosti gubitaka praznog hoda transformatora su određene i često zagarantirane od proizvođača. Mjerenja gubitaka praznog hoda se izvode da se potvrdi da vrijednost gubitka praznog hoda ne prelazi određenu i garantiranu vrijednost. Nazivni napon se primjenjuje ili na VN stezaljke ili na NN stezaljke dok na drugoj strani ostaje otvoreni krug. Primjenom izmjeničnog napona na jednu stranu, u jezgri se uspostavlja magnetski tok, koji inducira ili uzrokuje pojavu napona na izvodima na drugoj strani. Struja praznog hoda i gubici praznog hoda ili gubici jezgre je energija potrebna za pobudu magnetskog toka u jezgri. Za postizanje preciznih vrijednosti gubitaka jezgre, izgled vala primjenjenog napona mora biti što bliži sinusoidalnom valu. Ako se transformator s jedne strane priključi na napon, a s druge strane ostave stezaljke otvorene, teći će iz mreže samo struja praznog hoda, odnosno snaga potrebna za pokrivanje gubitaka praznog hoda. Gubitak praznog hoda transformatora je gubitak snage u transformatoru koji pobuđen pri nazivnom naponu i frekvenciji, ali bez opterećenja. Gubici praznog hoda sastoje se od:

- a) Gubitaka jezgre u materijalu jezgre (željezu)
- b) Dielektričkih gubitaka u izolacijskom sustavu
- c)  $I^2R$  gubitaka zbog uzbudne struje u uzbuđenom namotu

Gubitak praznog hoda transformatora je primarno izazvan gubicima u željezu jezgre. Ostala dva izvora gubitaka se ponekad ignoriraju, pa se zato struja praznog hoda naziva i struja magnetiziranja. [29]

#### 5.2.4.7. Dielektrična ili naponska ispitivanja

Grupa testova tijekom kojih se transformator podvrgava višim naponima i stoga višim naponskim naprežanjima nego inače. Svrha ispitivanja je potvrditi da su konstrukcija, izrada i rad transformatora i izolacije prikladni za osiguranje dugog životnog vijeka transformatora.

##### **a) Ispitivanje stranim podnosivim naponom**

Ispitivanje stranim podnosivim naponom se potvrđuje da je glavna izolacija i prostor između izvoda vodova i poda zadovoljavajući. Glavna izolacija je izolacija između namota koji se

ispituje i ostalih namota, jezgre i kotla. Tijekom testa, svaki namot se kratko spaja, nakon čega se primjenjuje određeni napon na ispitivani namot dok su ostali namoti uzemljeni.

#### **b) Ispitivanje induciranim naponom**

Ispitivanjem induciranim naponom, inducira se napon u transformatoru koji uzrokuje da se naponsko opterećenje između namotaja i između slojeva svakog namota poveća iznad normalnog napona. Primjenjeni napon je uglavnom pri 120 ili 180 Hz da ne bi došlo do zasićenja jezgre.

#### **c) Ispitivanje induciranim naponom s parcijalnim izbijanjima**

Parcijalna izbijanja se mjere tijekom ispitivanja induciranim naponom koristeći posebnu opremu spojenu na transformatorske provodnike. Stupanj izbijanja, mjeren u mikrovoltima ili pikokolumbima, se neprekidno prati i bilježi svakih 5 min. Transformatori od 115kV i više, trebaju ovaj jednosatni test tijekom kojeg se svi dijelovi izolacije preopterećuju naponom do 150 % višim od nazvinog.

Tijekom rada transformatora, mogu se generirati električna izbijanja koja uzrokuju oštećenja izolacijskih materijala i smetnje u radu elektroničkih uređaja u području oko transformatora. Ova izbijanja mogu biti uzrokovana različitim faktorima poput: neodgovarajućeg vakuumiranja koji ostavlja zračne praznine u izolaciji ili ulju, koncentracije visokog električnog naprezanja na oštrim rubovima vodiča, lokalnih točaka preopterećene izolacije.

#### **d) Ispitivanje udarnim naponom**

Ispitivanje udarnim naponom se provodi na svim energetske transformatorima. Ovim ispitivanjem se provjerava izdržljivost izolacije prema visokim ali kratkotrajnim naponskim valovima. Osim potvrde dielektrične snage izolacijskog sustava, odličan je pokazatelj kvalitete izolacije, izrade i obrade papira i sustava izolacijskog ulja. Ispitivanja udarnim naponom simuliraju putujuće valove nastale zbog udara munja i linijskih preskoka. Putujući valovi mogu imati dva oblika. Prvi je cijeli val (full-wave). Kod njega napon doseže vršnu vrijednost u 1.2  $\mu$ s, a onda se spušta na 50% vršne vrijednosti u 50  $\mu$ s. Drugi oblik vala je odsječeni val. Odsječeni val ima isti oblik kao cijeli val, no njegova vršna vrijednost je 10% veća od cijelog vala i val je odsječen na 3  $\mu$ s. Odsječeni val simulira iznenadni vanjski linijski preskok izolacije. Test sa odsječenim valom pokazuje sposobnost izdržavanja iznenadnog pada trenutnog napona. [29]

## 6. PRAKTIČNI DIO: PRIMJENA LEAN ALATA U ISPITNOJ STANICI KPT-A

### 6.1. Implementacija 6S principa u ispitnu stanicu

U sklopu ovog diplomskog rada dogovoreno je da će se u ispitnoj stanici KPT-a provesti implementacija 6S-a.

U prvom koraku u dogovoru s mentorom i šefom ispitne stanice KPT-a krenuli smo u snimanje trenutnog stanja u ispitnoj stanici i provođenje audita.

Prilikom prvog provođenja audita ustanovljeno je slijedeće stanje: kod samog ulaza u prostor ispitne stanice nalaze se stolovi ispod kojih se nalaze nerazvrstane žice i kablovi, a na stolovima se nalaze posude s alatom koji nije sortiran i uredno posložen. Također na stolovima se nalaze razne boce s nedefiniranim sadržajem. U prostoru ispitne stanice se nalazi višak djelila koja se ne koriste, a oko samih djelila se nalaze različiti razbacani alati, materijali i oprema koje treba posložiti ili koji nisu potrebni i treba ih otpisati. (Slika 30., Slika 31.)



Slika 30. Identificirano stanje u ispitnoj stanici





**Slika 31. Identificirano stanje u ispitnoj stanici**

Nakon što je provedeno snimanje trenutnog stanja u ispitnoj stanici, ispunjava se ocjenjivački list koji izgleda ovako (Slika 32.):

<b>Končar Energetski transformatori d.o.o.</b>	<b>OCJENJIVAČKI LIST SA AUDITA BR.: 0.00 EVALUATION SHEET</b>	<b>6S</b>
--	---	-----------

No.	Kriteriji ocjenjivanja	Broj pronađenih odstupanja:				
		0	1	2	3-4	5+
<b>1S - SORTIRANOST (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
1	Na radnom mjestu nalaze se samo potrebni dijelovi, materijali i dozvoljene zalihe				x	
2	Na radnom mjestu nalazi se samo potreban alat i oprema					x
3	Na radnom mjestu nalazi se samo potrebna dokumentacija	x				
4	Na radnom mjestu nema nepotrebnih predmeta (oprema, kolica, palete i sl.)					x
		0 <sup>(x)</sup>	4 <sup>(x)</sup>	3 <sup>(x)</sup>	2 <sup>(x)</sup>	1 <sup>(x)</sup>
	Ukupno:	5			2	2
	Bodovarije: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100					Bodova: 30
<b>2S - UREĐENOST (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
5	Mjesta za odlaganje dijelova, poluproizvoda i zaliha su jasno definirana i označena					x
6	Oprema i alati su propisno označeni i imaju jasno definirano mjesto pohrane					x
7	Potrebna dokumentacija je dostupna, propisno označena i ima jasno definirano mjesto pohrane	x				
8	Transportni putevi, pristup opremi i granice radnog prostora jasno su definirani i označeni					x
		0 <sup>(x)</sup>	4 <sup>(x)</sup>	3 <sup>(x)</sup>	2 <sup>(x)</sup>	1 <sup>(x)</sup>
	Ukupno:	5				3
	Bodovarije: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100					Bodova: 20
<b>3S - ČISTOĆA (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
9	Spremnici, stalaže, ormari, radni stolovi, kolica za transport dijelova i sl. su čisti i bez oštećenja		x			
10	Alati i oprema su čisti, održavani i bez oštećenja			x		
11	Radne površine, zidovi i pregrade su čisti i bez oštećenja				x	
12	Oprema za održavanje čistoće je dostupna i uredno spremljena			x		
		0 <sup>(x)</sup>	4 <sup>(x)</sup>	3 <sup>(x)</sup>	2 <sup>(x)</sup>	1 <sup>(x)</sup>
	Ukupno:	5	4	6	2	
	Bodovarije: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100					Bodova: 40
<b>4S - STANDARDIZIRANOST (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
13	Prikazani pokazatelji procesa (KPI) su točni, relevantni i ažurirani	x		Da-Ne		
14	Alati, oprema i dokumentacija odloženi su uredno i vraćaju se odmah nakon upotrebe			x		
15	Zapisi o održavanju radnog prostora, alata, opreme i strojeva su jasni, dostupni i ažurirani					x
16	Otpad (komunalni otpad, plastična folija i sl.) se sortira i redovito uklanja iz područja rada	x				
		0 <sup>(x)</sup>	4 <sup>(x)</sup>	3 <sup>(x)</sup>	2 <sup>(x)</sup>	1 <sup>(x)</sup>
	Ukupno:	10		3		1
	Bodovarije: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100					Bodova: 50
<b>5S - SAMODISCIPLINA (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
17	Rezultati 5S audita su vidljivi svima			Da-Ne		x
18	Mjere su izvršene i ažurirane u roku					x
19	Vrijeme i resursi kontinuirano se raspoređuju na 5S aktivnosti	x		Da-Ne		
20	Tim samoinicijativno poduzima mjere s ciljem poboljšanja			Da-Ne		x
		0 <sup>(x)</sup>	4 <sup>(x)</sup>	3 <sup>(x)</sup>	2 <sup>(x)</sup>	1 <sup>(x)</sup>
	Ukupno:	5				3
	Bodovarije: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100					Bodova: 20
<b>6S - SIGURNOST</b>						
21	Radnici koriste definirana sredstva za rad na siguran način, potrebna za njihovu trenutnu radnu aktivnost		x			
22	Izlazi za evakuaciju, pristupi sigurnosnoj opremi, transportni putevi su jasno označeni i slobodni	x				
23	Radna okolina je pogodna za rad (rasvjeta, temperatura)			x		
24	Alati, oprema, dijelovi, poluproizvodi i sredstva ZNR pohranjeni ispravno i sigurno (odgovarajuća visina, mjesto)		x			
		0 <sup>(x)</sup>	4 <sup>(x)</sup>	3 <sup>(x)</sup>	2 <sup>(x)</sup>	1 <sup>(x)</sup>
	Ukupno:	5	8	3		
	Bodovarije: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100					Bodova: 60
	<b>Ukupno bodova:</b>					<b>220</b>

Slika 32. Ocjenjivački list s prvog audita

Iz kojeg se može zaključiti da trenutno stanje ispitne stanice ne odgovara kriterijima koji bi zadovoljili i sve to bio je dovoljan pokazatelj da ovo radno mjesto nije dovoljno dobro uređeno, da mjesta za odlaganje dijelova nisu jasno definirana, da oprema i alati nisu propisno označeni i nemaju jasno definirano mjesto pohrane, da se na radnom mjestu nalazi nepotreban alat i oprema te da definitivno treba provesti implementaciju 6S-a u radni prostor.

Nakon provođenja audita, slijedeći korak je definiranje mjera, tj. definiranje prijedloga poboljšanja u odonosu na postojeće stanje, koji se temelje na 6 principa 6S-a.

Neki od prijedloga poboljšanja (Slika 33.):

- definirati način sortiranja i odlaganja kabela i užadi
- definirati status, sadržaj i mjesto odlaganja boca
- ukloniti stvari s ormara
- otpisati staru opremu koja se više ne koristi
- očistiti paučinu sa zidova
- definirati mjesto za parkiranje pokretne platforme kada se ne koristi

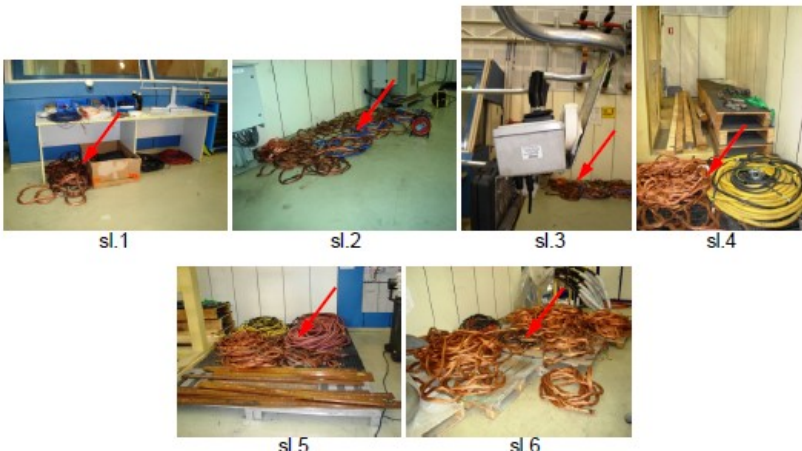
Končar Energetski transformatori d.o.o.	<b>PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA SA AUDITA BR.: 0.00</b>	<b>6S</b>
---	---	-----------

<b>PROCES:</b>	<b>ISPITIVANJE</b>
<b>DOMAĆINI:</b>	Hutinec Tomislav
<b>VODITELJ TIMA:</b>	Božić Tomislav
<b>KONTROLORI:</b>	Zagorec Ivica
	Belužić Predrag

**PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA:**


Prostor nove ispitne stanice:

1. Definirati način sortiranja i odlaganja kabela i užadi (sl.1, sl.2, sl.3, sl.4, sl.5, sl.6)



2. Definirati status, sadržaj i mjesto odlaganja boca (sl.7, sl.8, sl.9)

3. Ukloniti stvari sa ormara (sl.8, sl.9)



KPT-BE.003, Izdanje 09.2012.

1



Slika 33. Prijedlozi poboljšanja

Definirani prijedlozi poboljšanja su zatim poslani rukovoditelju ispitne stanice, te se dao rok za implementaciju mjera od mjesec dana. Nakon toga je napravljen izvještaj o implementaciji mjera, iz kojeg je vidljivo da se stanje popravilo (Slika 34.).

U primjeru vidimo da je početnom stanju prostor oko cjevovoda je bio neuredan, dijelovi i materijali razbacani, bez definiranih mjesta pohrane. Nakon implementacije dijelovi su sortirani i uredno posloženi, te je vidljivo da je višak materijala koji se ne koristi i koji zapravo smeta i ograničava prostor, uklonjen.

Končar Energetski transformatori d.o.o.	<b>IZVJEŠTAJ O IMPLEMENTACIJI MJERE</b>	<b>6S</b>
---	---	-----------

<b>MJESTO:</b>	ISPITNA STANICA
<b>OZNAKA MJERE:</b>	XX
<b>NAZIV MJERE:</b>	Počistiti prostor ispitne stanice
<b>ZADUŽEN:</b>	Hutinec Tomislav
<b>ROK:</b>	15.1.2016

<p><b>Identificirano stanje:</b></p> <p>1. Dijelovi nisu složeni u skladu sa 6S, prostor neuredan</p> 	
<p><b>Implementirano stanje:</b></p> <p>1. Dijelovi sortirani i uredno posloženi</p> 	
Datum : 3.12.2015	Implementirao : Hutinec Tomislav

Slika 34. Izvještaj o implementaciji mjere

Na slijedećem primjeru vidimo da su boce s ormara uklonjene te je definirano mjesto odlaganja boca (Slika 35.)



Slika 35. Stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja

Višak materijala i alata sa stola je uklonjen te posložen u ormariće. Kabeli koji su stajali ispod stola su postavljeni na za to definirano mjesto (Slika 36.).



**Slika 36. Stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja**

Nakon provedenog audita, ispunjava se novi ocjenjivački list (Slika 37.) iz kojeg se vidi da se stanje popravilo i da radnici imaju osnovna znanja iz 6S principa za održavanje radnog mjesta. Audit za provjeru održavanja stanja radionice će se prema dogovoru sa poslovođom vršiti svakih mjesec dana.

<b>Končar Energetski transformatori d.o.o.</b>	<b>OCJENJIVAČKI LIST SA AUDITA BR.: 10.89 EVALUATION SHEET</b>	<b>6S</b>
--	--	-----------

No.	Kriteriji ocjenjivanja	Broj pronađenih odstupanja:				
		0	1	2	3-4	5+
<b>1S - SORTIRANOST (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
1	Na radnom mjestu nalaze se samo potrebni dijelovi, materijali i dozvoljene zalihe	x				
2	Na radnom mjestu nalazi se samo potreban alat i oprema		x			
3	Na radnom mjestu nalazi se samo potrebna dokumentacija	x				
4	Na radnom mjestu nema nepotrebnih predmeta (oprema, kolica, palete i sl.)	x				
		3*(x)	4*(x)	3*(x)	2*(x)	1*(x)
Ukupno:		<b>10</b>	<b>8</b>			
Bodovanje: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100		Bodova: <b>80</b>				
<b>2S - UREĐENOST (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
5	Mjesta za odlaganje dijelova, poluproizvoda i zaliha su jasno definirana i označena	x	x			
6	Oprema i alati su propisno označeni i imaju jasno definirano mjesto pohrane		x			
7	Potrebna dokumentacija je dostupna, propisno označena i ima jasno definirano mjesto pohrane	x				
8	Transportni putevi, pristup opremi i granice radnog prostora jasno su definirani i označeni		x			
		3*(x)	4*(x)	3*(x)	2*(x)	1*(x)
Ukupno:		<b>5</b>	<b>12</b>			
Bodovanje: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100		Bodova: <b>70</b>				
<b>3S - CISTOCA (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
9	Spremnici, stalaže, ormari, radni stolovi, kolica za transport dijelova i sl. su čisti i bez oštećenja	x				
10	Alati i oprema su čisti, održavani i bez oštećenja	x				
11	Radne površine, zidovi i pregrade su čisti i bez oštećenja		x			
12	Oprema za održavanje čistoće je dostupna i uredno spremljena		x			
		3*(x)	4*(x)	3*(x)	2*(x)	1*(x)
Ukupno:		<b>10</b>	<b>8</b>			
Bodovanje: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100		Bodova: <b>80</b>				
<b>4S - STANDARDIZIRANOST (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
13	Prikazani pokazatelji procesa (KPI) su točni, relevantni i ažurirani	x		Da-Ne		
14	Alati, oprema i dokumentacija odloženi su uredno i vraćaju se odmah nakon upotrebe	x				
15	Zapisi o održavanju radnog prostora, alata, opreme i strojeva su jasni, dostupni i ažurirani		x			
16	Otpad (komunalni otpad, plastična folija i sl.) se sortira i redovito uklanja iz područja rada	x				
		3*(x)	4*(x)	3*(x)	2*(x)	1*(x)
Ukupno:		<b>15</b>	<b>4</b>			
Bodovanje: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100		Bodova: <b>90</b>				
<b>5S - SAMODISCIPLINA (OPIS AKTIVNOSTI)</b>						
17	Rezultati 5S audita su vidljivi svima	x		Da-Ne		
18	Mjere su izvršene i ažurirane u roku		x			
19	Vrijeme i resursi kontinuirano se raspoređuju na 5S aktivnosti	x		Da-Ne		
20	Tim samoinicijativno poduzima mjere s ciljem poboljšanja	x		Da-Ne		
		3*(x)	4*(x)	3*(x)	2*(x)	1*(x)
Ukupno:		<b>15</b>	<b>4</b>			
Bodovanje: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100		Bodova: <b>90</b>				
<b>6S - SIGURNOST</b>						
21	Radnici koriste definirana sredstva za rad na siguran način, potrebna za njihovu trenutnu radnu aktivnost	x				
22	Izlazi za evakuaciju, pristupi sigurnosnoj opremi, transportni putevi su jasno označeni i slobodni		x			
23	Radna okolina je pogodna za rad (rasvjeta, temperatura)	x				
24	Alati, oprema, dijelovi, poluproizvodi i sredstva ZNR pohranjeni ispravno i sigurno (odgovarajuća visina, mjesto)	x				
		3*(x)	4*(x)	3*(x)	2*(x)	1*(x)
Ukupno:		<b>15</b>	<b>4</b>			
Bodovanje: 0-4=0, 5-6=10, 7-8=20, 9-10=30, 11-12=40, 13-14=50, 15-16=60, 17=70, 18=80, 19=90, 20=100		Bodova: <b>90</b>				
<b>Ukupno bodova:</b>		<b>500</b>				

Slika 37. Ocjenjivački list s drugog audita



## 6.2. Multi moment study

Kao što je već prije spomenuto, multi moment study je statistički alat za određivanje udjela vremena koje radnici provode u različitim definiranim kategorijama aktivnosti.

U sklopu ovog diplomskog provedena je multi moment analiza u ispitnoj stanici KPT-a. Tokom ispitivanja se prate radnici i u tablicu s različitim definiranim kategorijama aktivnosti, kao što su hodanje, pričanje, promjena alata, upravljanje strojem itd., se svakih nekoliko minuta bilježi što u tom trenutku radi koji radnik kao što vidimo u tablici 3.

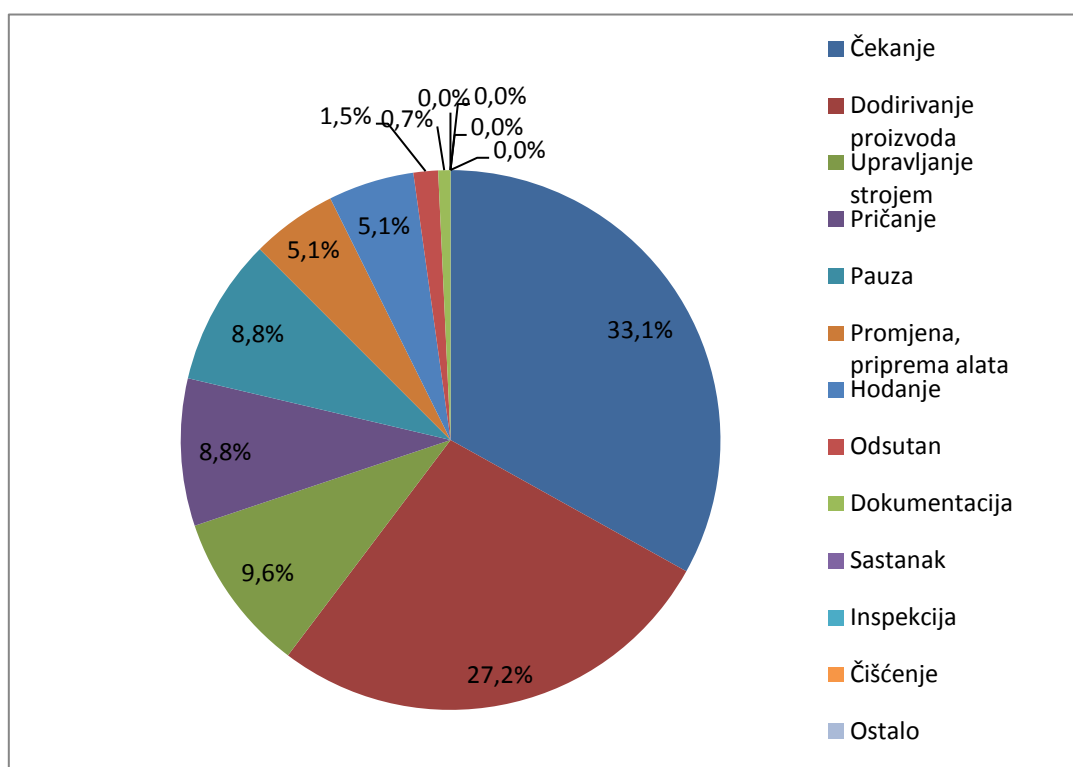
**Tablica 3. Multi moment studija**

Vrijeme	Broj radnika	Čekanje	Pričanje	Dotirivanje proizvoda	Promjena, priprema alata	Upravljanje strojem	Hodanje	Pauza	Sastanak	Dokumentacija	Inspekcija	Čišćenje	Odsutan	Ostalo
8:00	2			I	I									
8:10				II										
8:20				I			I							
8:30				II										
8:40				II										
8:50				I			I							
9:00				II										
9:10				I		I								
9:20							I						I	
9:30	3			II		I								
9:40		I		I										
9:50		I	I		I									
10:00		I				I	I							
10:10		II		I										
10:20	4							III						
10:30								III						
10:40								III						
10:50								III						
11:00	3		II				I							
11:10		II				I								
11:20				II		I								
11:30		I				I							I	
11:40	4			II	II									
11:50				III	I									
12:00		I		III										
12:10				III	I									
12:20			III			I								
12:30		II				II								
12:40		II		I		I								
12:50		I		II			I							
13:00		III				I								
13:10		III				I								
13:20	4		III				I							
13:30		III												I
13:40		III												
13:50		III												
14:00		III												
14:10		III												
14:20		III												
14:30		II		II										
14:40				II	I				I					
14:50			III	I										

U ovom slučaju su promatrana sveukupno 4 radnika u vremenu od 8:00 do 14:50, te je period snimanja radnika bio svakih 10 min. Na temelju ove tablice i podataka je napravljena tablica postotnog udjela vremena provedenog u različitim aktivnostima (Tablica 4.) te sukladno tome i dijagram 1. (Slika 38.) koji to grafički prikazuje.

**Tablica 4. Postotni udio aktivnosti**

Aktivnost	Broj	Postotak
Čekanje	45	33,1%
Dodirivanje proizvoda	37	27,2%
Upravljanje strojem	13	9,6%
Pričanje	12	8,8%
Pauza	12	8,8%
Promjena, priprema alata	7	5,1%
Hodanje	7	5,1%
Odsutan	2	1,5%
Dokumentacija	1	0,7%
Sastanak	0	0,0%
Inspekcija	0	0,0%
Čišćenje	0	0,0%
Ostalo	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>100,0%</b>



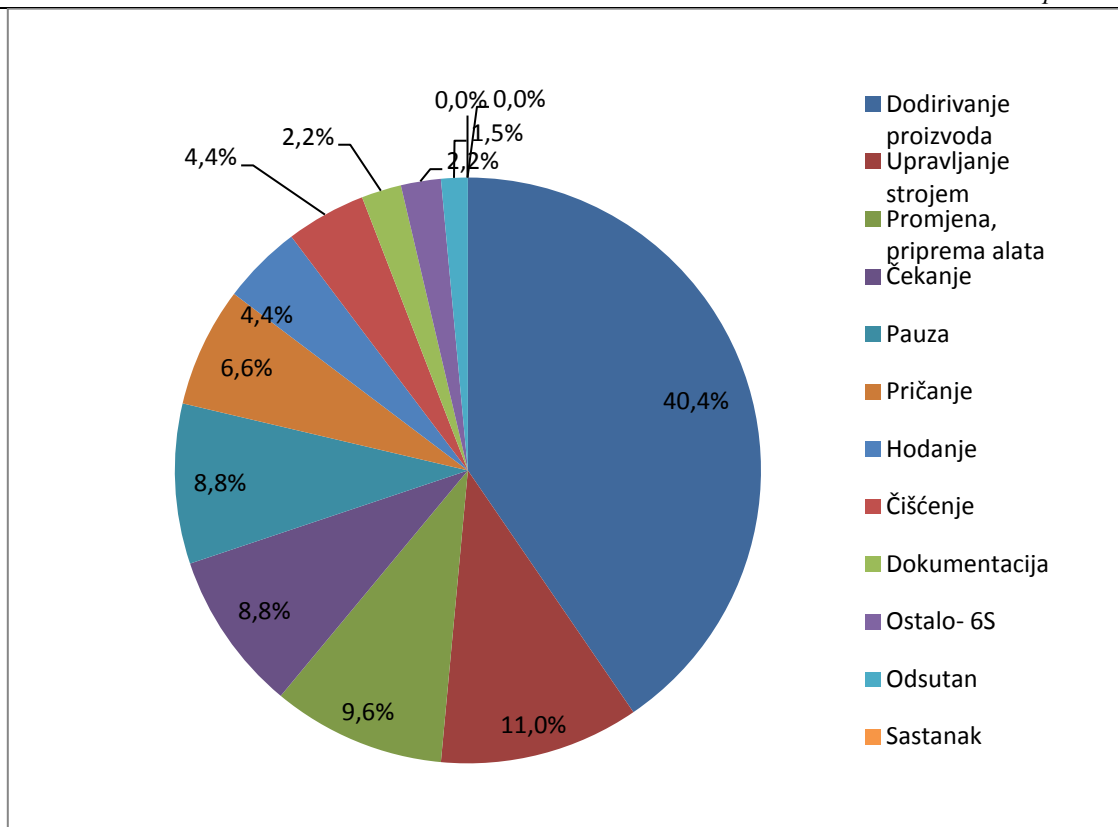
**Slika 38. Dijagram prve multi moment studije**

Iz dijagrama (Slika 38.) je vidljivo da su radnici najviše, čak 33,1% vremena proveli u čekanju, što je naravno aktivnost koja ne doprinosi vrijednosti proizvoda, što je u konačnici dovelo do toga da se nije uspjelo izvršiti još jedno planirano ispitivanje u zadanom vremenu. To je dijelom posljedica čekanja kupca jer je samo ispitivanje potrebno provoditi dok je kupac prisutan, a dijelom je posljedica samog načina ispitivanja jer je za vrijeme ispitivanja potreban samo jedan radnik koji sjedi za računalom i bilježi podatke, dok ostatak radnika čeka ili provodi neku drugu aktivnost koja ne donosi vrijednost, do odspajanja i pripreme za slijedeće ispitivanje.

Nakon snimanja dijagrama donešeni su neki prijedlozi kojima bi se utjecalo na smanjenje aktivnosti koje ne pridonose vrijednosti proizvoda, tj. kojima bi se smanjili gubici. Prvi prijedlog je da se izradi detaljan plan ispitivanja i isti koordinira s kupcem i na taj način smanjiti čekanja na kupca. Drugi prijedlog je da radnici koji tijekom ispitivanja čekaju, rade paralelne aktivnosti kao što su popunjavanje protokola, izvođenje 6S aktivnosti, izrada uputa. Tablica 5. i pripadajući dijagram prikazuju da se stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja znatno popravilo.

**Tablica 5. Postotni udio aktivnosti nakon primjene prijedloga poboljšanja**

Aktivnosti	Broj	Postotak
Dodirivanje proizvoda	55	40,4%
Upravljanje strojem	15	11,0%
Promjena, priprema alata	13	9,6%
Čekanje	12	8,8%
Pauza	12	8,8%
Pričanje	9	6,6%
Hodanje	6	4,4%
Čišćenje	6	4,4%
Dokumentacija	3	2,2%
Ostalo- 6S	3	2,2%
Odsutan	2	1,5%
Sastanak	0	0,0%
Inspekcija	0	0,0%
<b>Ukupno</b>	<b>136</b>	<b>100,0%</b>



Slika 39. Dijagram multi moment studije nakon primjene prijedloga poboljšanja

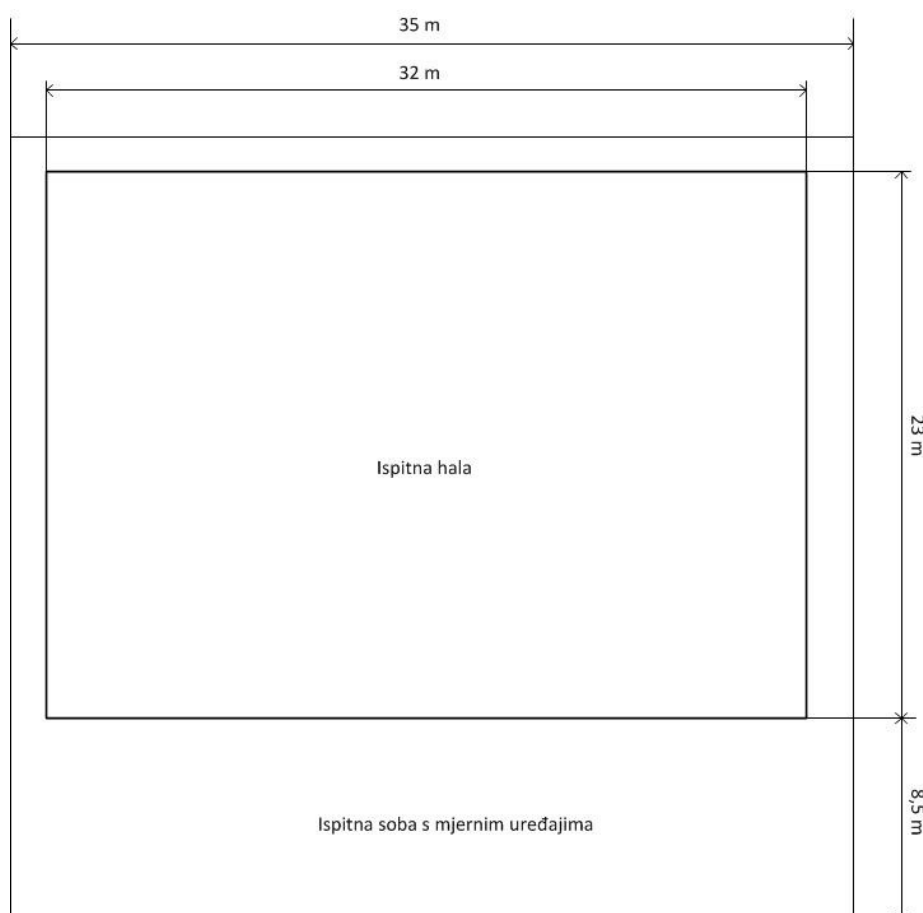
Iz dijagrama se vidi da je aktivnost čekanje na 8,8% tj. smanjila se za čak 24%. Aktivnost dodirivanje proizvoda je narasla za 13%, dok su aktivnosti koje doprinose vrijednosti proizvoda ukupno na vrijednosti od 80% ukupnog vremena. Ovim poboljšanjem bilo je moguće izvršiti sva planirana ispitivanja u zadanom vremenu.

### 6.3. Špageti dijagram

Da bi se dobio bolji uvid u stvarno kretanje radnika i pripremu transformatora za pojedina ispitivanja izrađeni su špageti dijagrami. Na temelju dijagrama biti će moguće ustanoviti na kojim mjestima se događaju nepotrebna kretanja i gubici, te će se donijeti prijedlozi kojima bi se ta nepotrebna kretanja eliminirala.

### 6.3.1. Snimljeno stanje

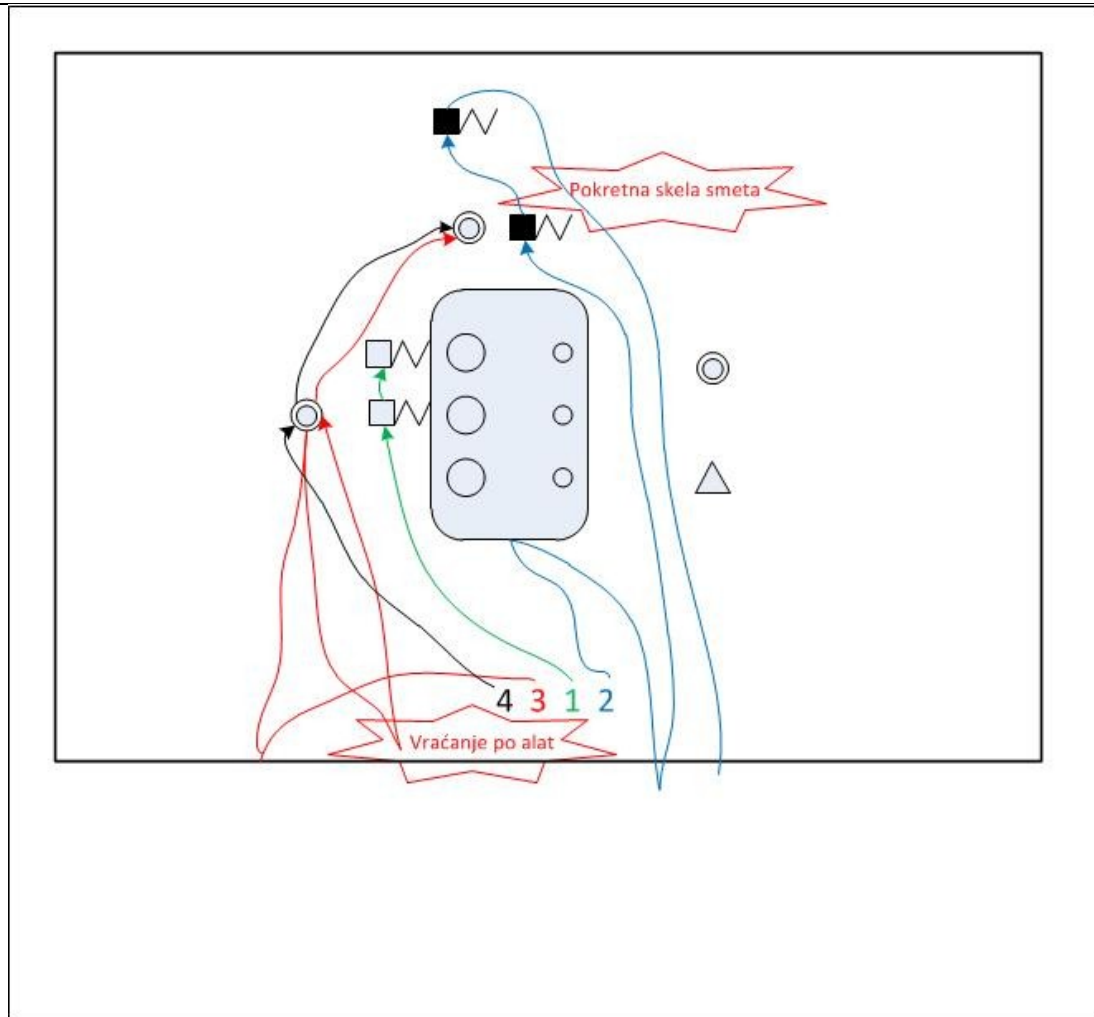
Prvo je napravljen tlocrt ispitne stanice s dimenzijama (Slika 40.).



**Slika 40. Tlocrt ispitne stanice**

Tijekom procesa ispitivanja izrađeni su dijagrami kretanja radnika, te se na temelju toga bilježila nepotrebna kretanja i gubici nakon čega su donešeni prijedlozi poboljšanja kako bi se ti gubici uklonili.

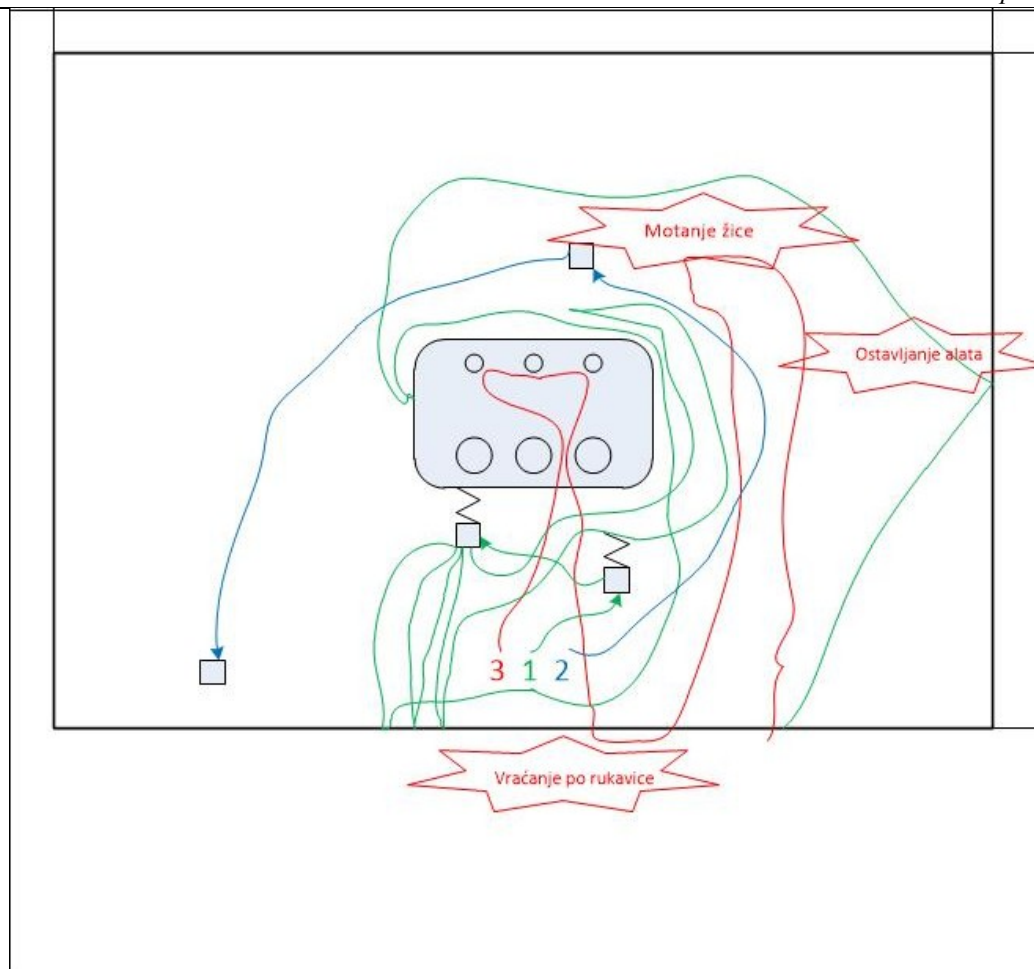
Na prvom dijagramu vidimo primjer prespajanja transformatora na A-fazu VN strane tijekom ispitivanja udarnim naponom (Slika 41.).



Slika 41. Špageti dijagram 1

Iz dijagrama se može vidjeti da radnik 2 tijekom prespajanja mora pomaknuti pokretnu skelu na novi položaj kako bi druga dva radnika mogla slobodno pomicati naponsko djelilo. Također, na dijagramu je vidljivo da se radnik 3 vraća po odgovarajući alat što je okarakterizirano kao nepotrebno kretanje. Izraženo u brojkama radnik 2 je tokom ove pripreme nepotrebno prešao 40 m što iznosi čak 76% ukupnih kretanja, dok je radnik 3 nepotrebno prešao 20 m što je 46% ukupnih kretanja tog radnika. Ako se uzme u obzir da se prosječno godišnje ispita 100 transformatora, za radnika 2 bi to godišnje iznosilo 4000m nepotrebnih kretanja, dok bi za radnika 3 to iznosilo 2000 m viška kretanja.

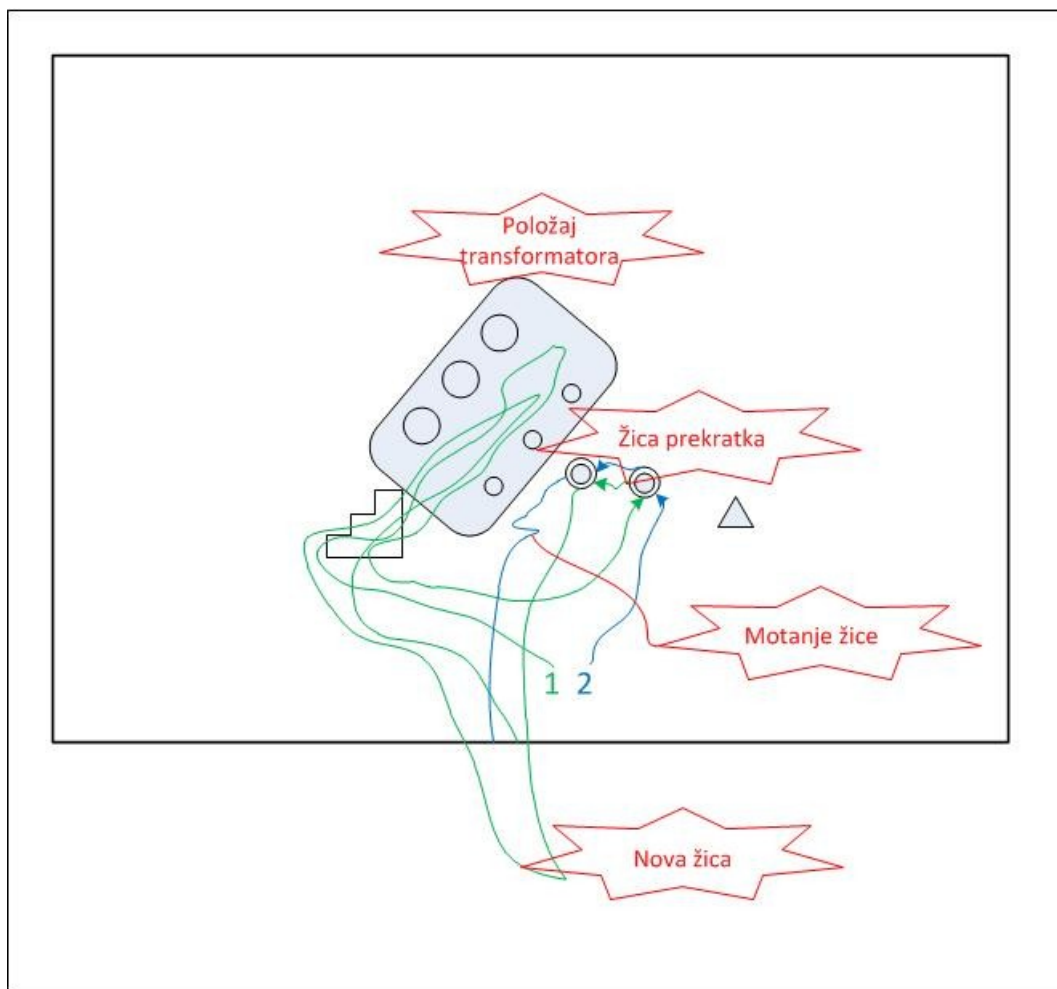
Na drugom dijagramu imamo primjer pripreme i spajanja za mjerenje otpora namota (Slika 42.).



Slika 42. Špageti dijagram 2

Iz dijagrama se vidi da se radnik 3 prvo popeo na transformator pa se vratio po rukavice što je okarakterizirano kao nepotrebno kretanje. Nakon toga odlazi do transformatora da bi smotao žicu od prethodnog ispitivanja. Radnik 1 primiče pokretnu skelu transformatoru te na nju povezuje žice koje će kasnije spojiti na VN, nakon toga odlazi na drugi kraj ispitne stanice da bi ostavio alat, što se može okarakterizirati kao višak kretanja, a smanjiti bi se moglo premještanjem mjesta odlaganja alata, do ispitne sobe s mjernim uređajima. Radnik 3 je u ovom slučaju napravio 20m nepotrebnih kretanja ili oko 35% ukupnih kretanja, dok je radnik 1 napravio čak 89m nepotrebnih kretanja što iznosi 66% ukupnih kretanja. Godišnje bi za radnika 3 to iznosilo oko 2000 m nepotrebnog hodanja, dok bi za radnika 1 na godišnjoj razini to iznosilo oko 8900 m nepotrebnog kretanja.

Na trećem dijagramu pri ispitivanju udarnim naponom, radnik na računalu nije mogao dobiti ispravan dijagram te je došlo do prekida ispitivanja (Slika 43.).

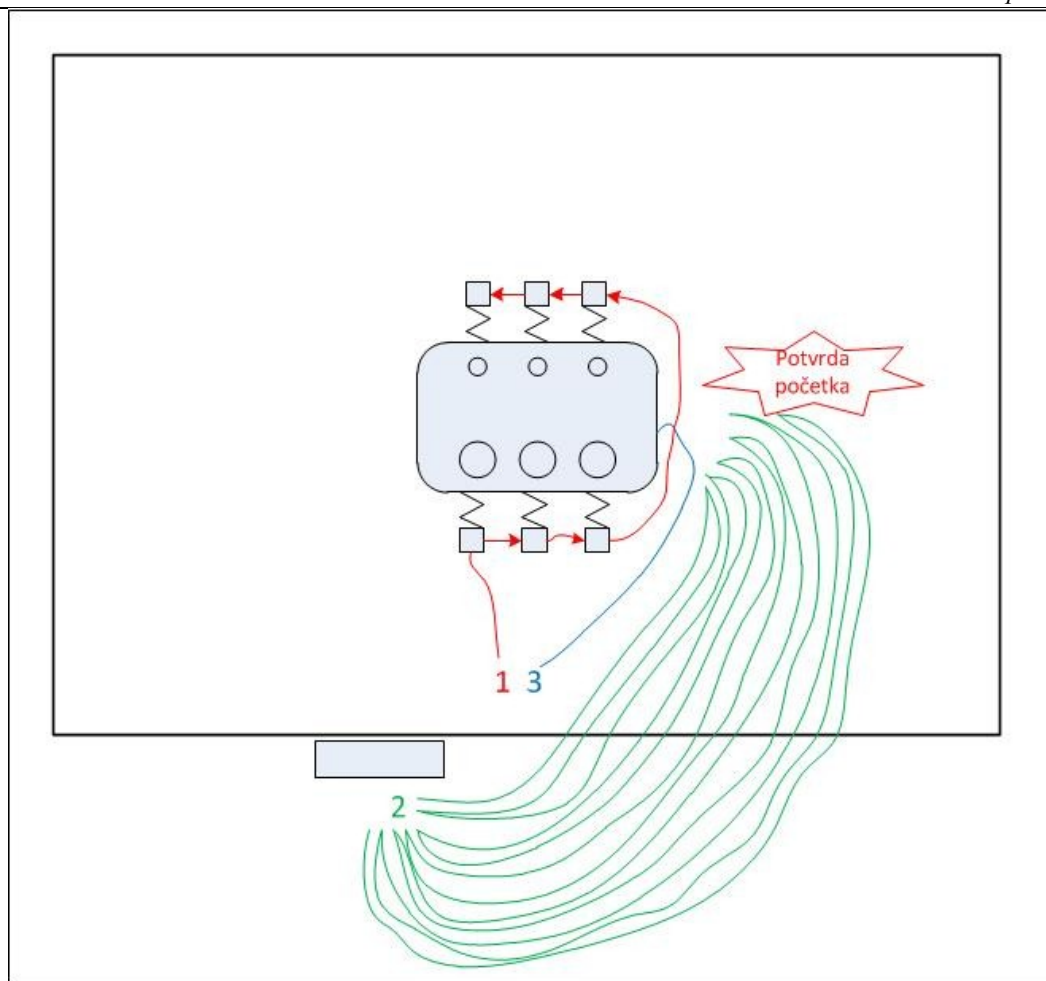


Slika 43. Špageti dijagram 3

Došlo se do zaključka da je žica, koja povezuje naponsko djelilo i VN transformatora prekratka, nakon čega je bilo potrebno približiti naponsko djelilo transformatoru, te zamijeniti kabele. Osim toga jedan od razloga prekratkog kabela može biti i položaj transformatora, te bi trebalo definirati mjesto postavljanja transformatora za pojedina ispitivanja. U ovom slučaju oba radnika rade nepotrebna kretanja jer do prekida ispitivanja ne bi uopće došlo da su na transformator spojeni vodiči normalne dužine, pa je tako radnik 1 nepotrebno prešao 50 m što iznosi 60% ukupnog kretanja, a radnik 2 15 m. Na godišnjoj razini to bi iznosilo 5000 m nepotrebnih kretanja za radnika 1 i 1500 m nepotrebnih kretanja za radnika 2.

Četvrti dijagram prikazuje kretanja radnika prilikom mjerenja otpora namota (Slika 44.)





Slika 44. Špageti dijagram 4

Na dijagramu se može vidjeti da prilikom mjerenja otpora namota pri prespajanju žica s faze na fazu, radnik 2 svaki put ulazi u ispitnu halu kako bi označio početak mjerenja i pritom radi nepotrebna kretanja. Vidljivo je da radnik u halu ulazi 6 puta i pritom svakom ulasku i vraćanju prijeđe oko 40 m što bi ukupno iznosilo čak 240 m nepotrebnih kretanja. Kad se to gleda na godišnjoj razini to bi iznosilo 24000 m.

Kad se sve zbroji, na ovim primjerima, radnici bi ukupno godišnje napravili oko 47400 m nepotrebnih kretanja što iznosi oko 13,2 sati viška rada godišnje ili 76% ukupnih kretanja.

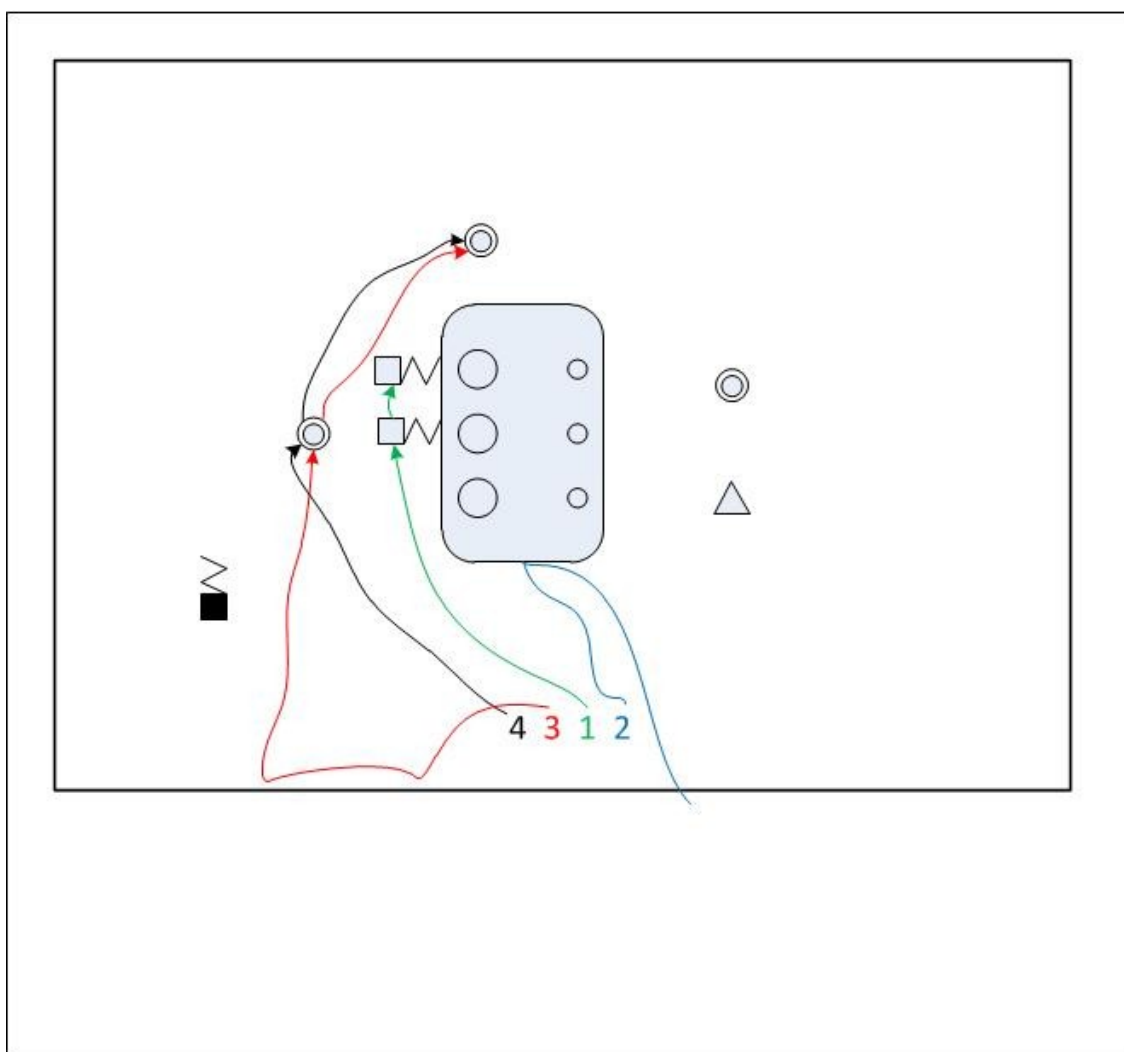
No treba uzeti u obzir da je ovo samo dio ispitivanja, te da se išlo u izradu dijagrama svih ispitivanja ta bi brojka bila vjerojatno mnogo veća.

Na temelju svih uočenih nedostataka u procesima ispitivanja donešeni su prijedlozi poboljšanja u svrhu eliminacije rasipanja i nepotrebnih kretanja.

Donešeni su slijedeći prijedlozi poboljšanja:

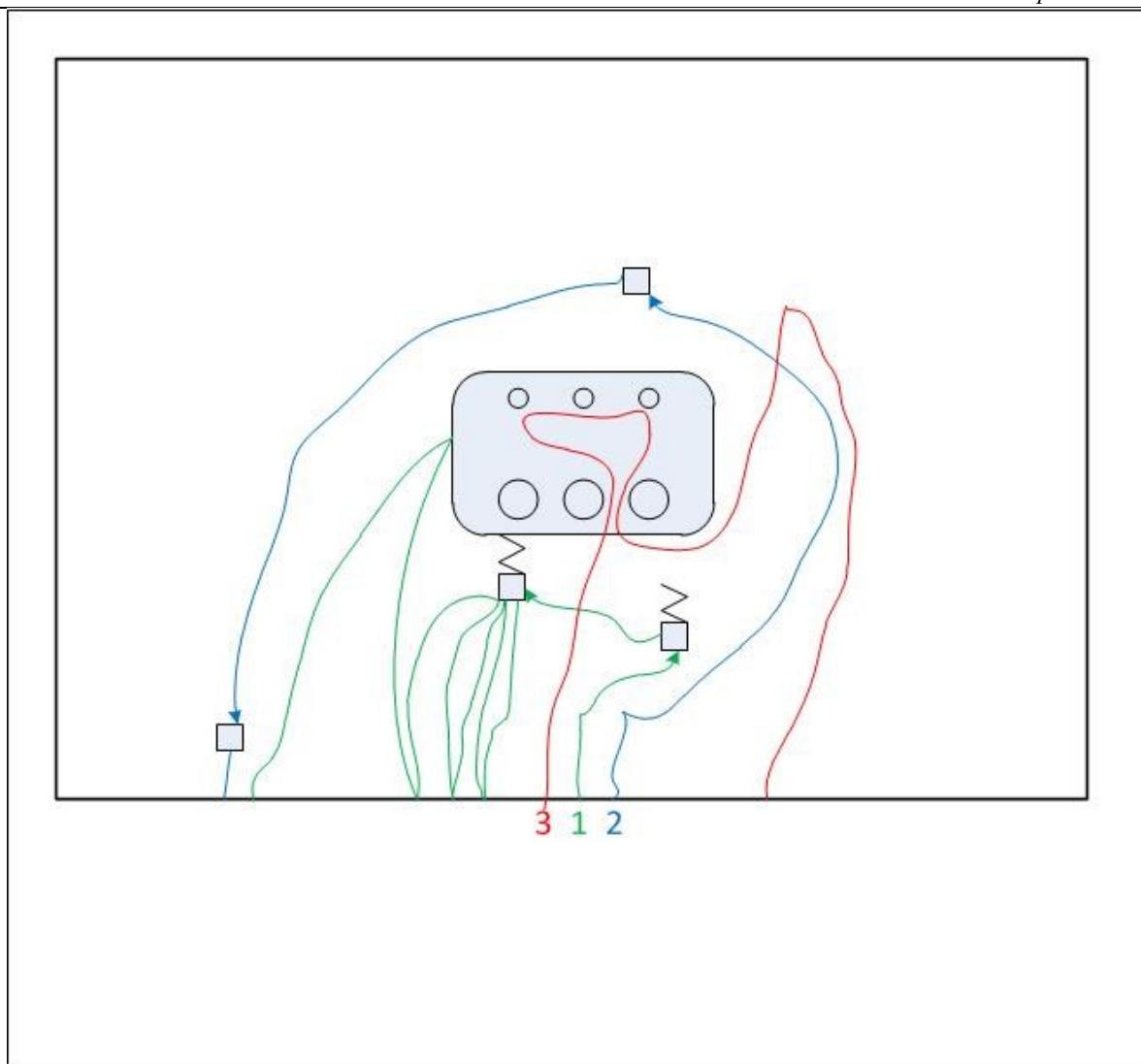
- Definirati sve alate i radnu opremu koji se koriste za svako pojedino ispitivanje
- Definirati mjesto odlaganja pokretnih platformi (kobri) i pokretnih stepenica, kako ne bi smetale prilikom ispitivanja
- Na pokretnu platformu staviti posudu za smještaj alata, radne i zaštitne opreme
- Definirati mjesto pozicioniranja transformatora za svako ispitivanje kako bi se uštedjelo na vremenu prilikom transporta transformatora
- Za svako ispitivanje definirati koje se žice koriste
- Različitim bojama označiti različite dužine žica
- Premjestiti ormar za smještanje žica i kablova unutar ispitne hale da se smanji potreban put
- Prilikom mjerenja otpora namota koristiti voki toki da se izbacni nepotrebnii ulazak radnika za potvrdu početka ispitivanja

## 6.3.2. Stanje nakon primjene prijedloga poboljšanja



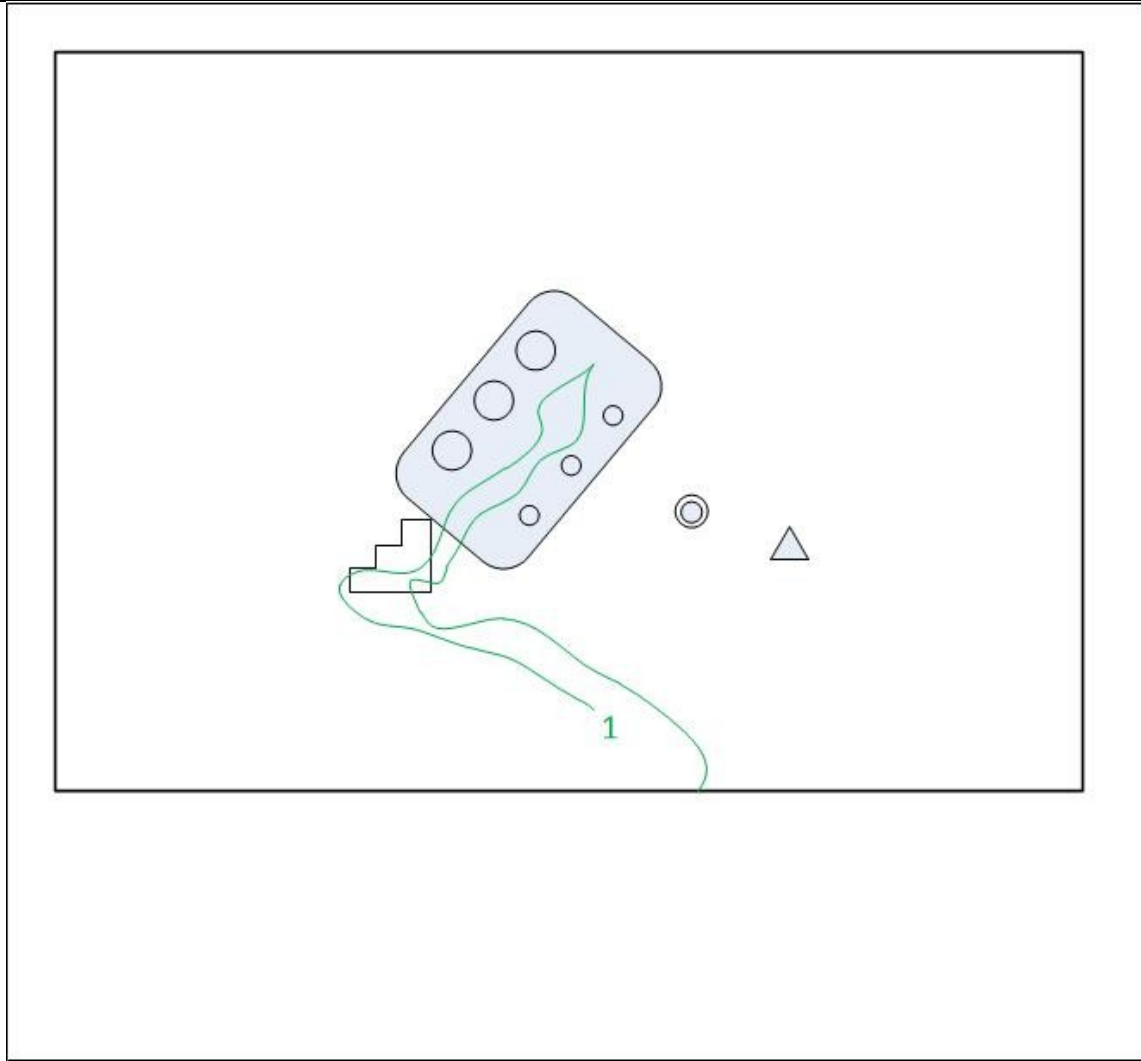
Slika 45. Špageti dijagram 1 nakon poboljšanja

Na dijagramu 1 (Slika 45.) vidljivo je da nema nepotrebnog kretanja. Radnik 3 uzima alat odmah sa sobom, te odlazi do naponskog djelila i s radnikom 4 pomiče djelilo. Također vidimo da je pokretna platforma smještena na mjesto za odlaganje te ne smeta više prilikom pomicanja djelila. Posljedica toga je da radnik 2 ne mora ulaziti u ispitnu prostoriju i raditi nepotrebna kretanja. Kod radnika 2, izbacivanjem nepotrebnih kretnji, imamo smanjenje ukupnog kretanja za 40m, a kod radnika 3 to smanjenje iznosi 23m.



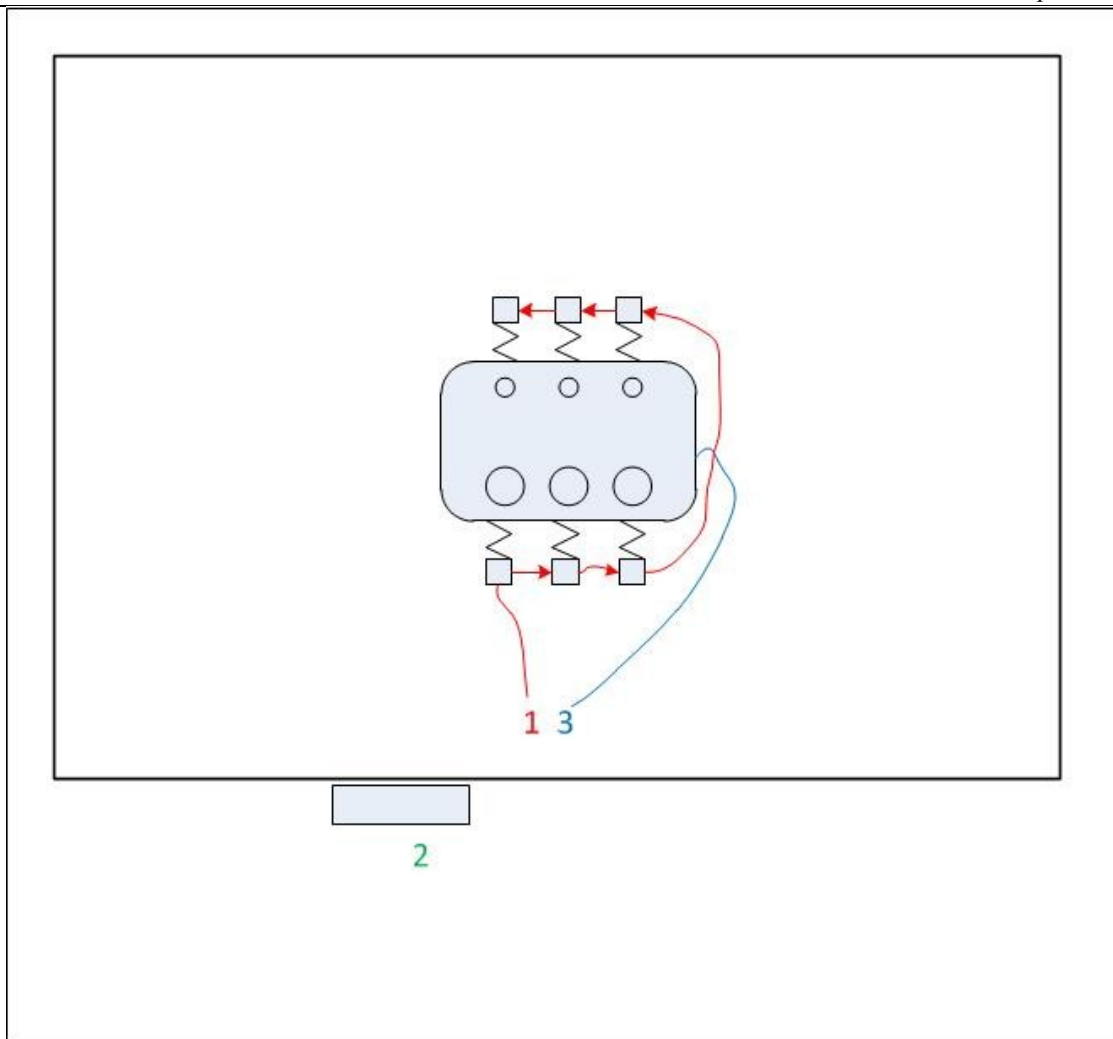
Slika 46. Špageti dijagram 2 nakon poboljšanja

Na drugom dijagramu (Slika 4.) vidljivo je da radnik 3 odmah sa sobom uzima rukavice te se penje na transformator te povezuje NN stranu žicom, nakon toga odlazi smotati žicu. Radnik 2 odvozi mjerni uređaj od prošlog ispitivanja. Radnik 1 na pokretnu platformu vezuje žice za ispitivanje otpora namota, te nakon toga odlaže alat na novu poziciju bliže ispitnoj sobi. Radnik 1 je tako prešao 27m manje, a radnik 3 je prešao 20m manje odnosno ukupno 37m.



**Slika 47. Špageti dijagram 3 nakon poboljšanja**

Na dijagramu 3 (Slika 47.) nakon primjene poboljšanja nije potrebno primicati naponsko djelilo tako da nisu potrebne intervencije radnika 2, niti mijenjati vodiče, te je položaj transformatora definiran. Radnik 1 je u ovom slučaju prešao 32m što je 40% manje nego što bi prije prešao.



Slika 48. Špageti dijagram 4 nakon poboljšanja

Nakon primjene voki tokija kao načina za komunikaciju, nema potrebe da radnik 2 ulazi u ispitnu halu kako bi označio početak ispitivanja te su u ovom slučaju nepotrebne kretnje u potpunosti izbačene tj. ušteda u višku kretanja radnika 2 je 100%.

Brojke dobivene primjenom ovih prijedloga pokazuju da bi radnici godišnje prešli i do 47400 m manje nego dosad što iznosi 76% manje kretnji. To bi u konačnici iznosilo oko 13,2 sati manje nepotrebni kretanja tj. ostvarene uštede bi bile u razini jedne i pol mjesečne plaće radnika.

#### 6.4. Standardizirani rad

Znati koje procese treba obaviti je značajno kao i znati kada se oni pravilno odvijaju. Kako bi se osiguralo da je zahtjevana razina kvalitete proizvoda, konzistentosti, efektivnosti i efikasnosti ispunjenja, potrebni su dokumentirani koraci procesa ili standardne operative procedure (SOP). To je potrebno radi definiranja standardiziranog rada koji je neophodni za smanjivanje grešaka i vremena kontakta. Standardizirani rad je jedan od najzanimljivijih alata lean proizvodnje, unatoč tome što ima za posljedicu kreiranje i dokumentiranje jasno definiranih operacija i za radnike i za strojeve. Kako bi definirali standardizirani rad, SOP mogu koristiti slike, riječi, tablice, simbole, boje i vizualne indikatore u cilju prenošenja konzistentnih i intuitivnih poruka različitim radnim grupama.

U ovom diplomskom postupak standardiziranog rada je proveden na mjerenju otpora namota. Prvi korak je bio snimiti postojeće stanje prije i za vrijeme ispitivanja kako bi se dobile informacije o vremenima trajanja, uvid u sam proces pripreme mjerenja i samog mjerenja, na temelju čega je izrađena tablica kombinacije standardiziranog rada (Tablica 6.). Iz tablice je vidljivo da vrijeme potrebno za provedbu mjerenja otpora prelazi taktno vrijeme, pa su donešeni neki prijedlozi kojima bi se to vrijeme reduciralo na prihvatljivu vrijednost.





Iz tablice se može isčitati da radnik 2 prije početka svakog mjerenja ulazi u ispitnu halu kako bi dao znak za početak mjerenja, što u biti predstavlja nepotrebna kretanja. Kako bi se to izbjeglo, za komunikaciju među radnicima se uvelo korištenje voki tokija, što je već predloženo prilikom snimanja špageti dijagrama, čime se izbacuje potreba radnika 2 da ulazi u halu i signalizira početak mjerenja. Drugi prijedlog je da se za motanje žice koristi stol s namatalicom, čime bi se vrijeme izvođenja te aktivnosti skratilo.

Nakon primjene prijedloga, vrijeme trajanja mjerenja se smanjilo na zadovoljavajuću vrijednost od 38 min i 15 sekundi, što je vidljivo iz tablice 6. Korištenjem voki tokija radnik 2 ne mora više ulaziti u ispitnu halu, a primjenom stola s namatalicom, trajanje motanja žice se smanjilo na 60 s (Tablica 7.).



Izrađena je također tablica studije procesa (process study sheet), na temelju koje se može napraviti tablica za školovanje novih radnika. Tablica studije procesa se koristi da se definiraju i snime vremena radnih elemenata u procesu. Prije mjerenja se promatraju i izlistaju potrebni radni elementi za proizvodnju jednog elementa ili u ovom slučaju za provedbu ispitivanja. Nakon toga se više puta snimaju i definiraju stvarna vremena potrebna za svaki radni element posebno, te se za svaki radni element za potrebno vrijeme izvođenja uzima najmanja ponavljajuća vrijednost (Tablica 8.).

**Tablica 8. Studija procesa**

Radni element	Promatrano puta										Ponavljajući
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Radnik 1 uzima dva vodiča i dva ključa stega i odlazi do kobre	43	45	46	45							45
Radnik 1 veže žice na kobru	90	87	90	92							90
Radnik 1 ulazi u kobru i diže se do visine provodnika	32	29	30	30							30
Radnik 1 spaja jednu žicu ključem stega na A fazu VN strane	57	60	60	58							60
Radnik 1 spaja drugu žicu na B fazu VN strane	60	63	59	60							60
Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3 mijenja poziciju sklopke	425	420	419	420							420
Radnik 1 odspaja i prespaja drugu žicu na C fazu VN strane	58	62	60	60							60
Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3 mijenja poziciju sklopke	421	420	420	418							420
Radnik 1 odspaja i prespaja prvu žicu na B fazu VN strane	60	61	60	58							60
Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3 mijenja poziciju sklopke	417	420	419	420							420
Radnik 1 odspaja obadvije žice s VN strane i premješta na NN stranu	148	150	150	146							150
Radnik 1 spaja žice na A i B fazu NN strane	88	90	89	90							90
Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3 mijenja poziciju sklopke	62	63	60	60							60
Radnik 1 prespaja drugu žicu na C fazu NN strane	60	60	58	59							60
Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3 mijenja poziciju sklopke	57	60	58	60							60
Radnik 1 prespaja prvu žicu na B fazu NN strane	60	59	57	60							60
Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3 mijenja poziciju sklopke	63	60	60	59							60
Gotovo mjerenje, radnik 1 odspaja žice	32	29	30	30							30
Radnik 3 slaže žice	63	60	60	60							120
Ukupno											2355

Nakon toga izrađena je i tablica za školovanje novih radnika. U toj tablici su detaljno prikazani koraci za izvođenje posla. Također može biti korisna iskusnim radnicima za potvrdu točnih operacija.

Izrađena je tablica s opisom koraka za pripremu mjerenja otpora namota i provedbu samog mjerenja (Tablica 7.). U tablici su detaljno opisani koraci i redosljed izvođenja operacija s propisanim vremenima trajanja, te je izrađen tlocrt smjera kretanja.

**Tablica 9. Instrukcije za posao**

#	Korak	Zabilješka	Vrijeme (s)	Taktno vrijeme: 2400 s	Vrijeme Ciklusa: 2295 s
<b>Radnik 1</b>					
1	Radnik 1 uzima dva vodiča i dva ključa stega i odlazi do kobre		45		
2	Radnik 1 veže žice na kobru		90		
3	Radnik 1 ulazi u kobru i diže se do visine provodnika		30		
4	Radnik 1 spaja jednu žicu ključem stega na A fazu VN strane		60		
5	Radnik 1 spaja drugu žicu na B fazu VN strane		60		
6	Radnik 1 odspaja i prespaja drugu žicu na C fazu VN strane		60		
7	Radnik 1 odspaja i prespaja prvu žicu na B fazu VN strane		60		
8	Radnik 1 odspaja obadvije žice s VN strane i premješta na NN		150		
9	Radnik 1 spaja žice na A i B fazu NN strane		90		
10	Radnik 1 prespaja drugu žicu na C fazu NN strane		60		
11	Radnik 1 prespaja prvu žicu na B fazu NN strane		60		
12	Gotovo mjerenje, radnik 1 odspaja žice		30		
<b>Radnici 2 i 3</b>					
13	Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3		420		
14	Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3		420		
15	Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3		420		
16	Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3		60		
17	Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3		60		
18	Mjerenje otpora namota - radnik 2 očitava rezultate, radnik 3		60		
19	Radnik 3 slaže žice		60		
	Ukupno		2295		

## 7. ZAKLJUČAK

Lean proizvodnja se jednostavno može definirati kao učinkoviti način obavljanja posla koji se nastoji neprestano unaprijediti s konačnim ciljem postizanja savršenstva u proizvodnji. Filozofija lean proizvodnje zasniva se na aktivnostima koje donose vrijednost kupcu (internom ili eksternom), sistemskoj identifikaciji i eliminaciji svih otpada (aktivnosti koje ne donose vrijednost) te neprekidnom poboljšanju proizvodnog okoliša u postizanju učinkovitosti. Obzirom da su kupci spremni platiti samo aktivnosti koje im donose vrijednost, tvrtke moraju pronaći način u postizanju najučinkovitijeg izvršavanja operacija. Brojni su alati koje tvrtka može koristiti za unapređenje proizvodnih procesa. Među njima su 6S, mapiranje toka vrijednosti, špageti dijagrami, standardni rad, vizualni menadžment itd. Svaki od alata i metoda doprinosi na svoj način ubrzanju proizvodnih procesa, poboljšanju proizvodne učinkovitosti, te eliminaciji aktivnosti koje ne doprinose vrijednosti za kupca i u konačnici učinkovitijem obavljanju proizvodnje.

Primjenom lean alata u ispitnoj stanici postignuta su poboljšanja. Rezultati primjene multi moment analize su prikazali da se vrijeme čekanja smanjilo za čak 24%, dok su se vremena ostalih aktivnosti koje pridonose vrijednosti proizvoda povećale za 20%. To je omogućilo provedbu još jednog planiranog ispitivanja i u konačnici povećanje kapaciteta. Brojke dobivene primjenom špageti dijagrama na primjeru 4 ispitivanja, pokazuju smanjenje nepotrebnih kretanja radnika od 47400 m, tj. 76% manje kretnji. To bi u konačnici iznosilo oko 13,2 sati manje nepotrebnih kretanja tj. ostvarene uštede bi bile u razini jedne i pol mjesečne plaće radnika. S obzirom da je analiza provedena na ograničenom malom dijelu ispitivanja, ta bi brojka mogla biti i puno veća. Primjenom alata standardiziranog rada, uspješno se smanjiti vrijeme provedbe ispitivanja mjerenje otpora namota na razinu blizu taktnog vremena, te se standardizirao sam postupak provedbe ispitivanja kako bi se smanjile varijacije u procesu. Implementacija 6S pokazala je veću produktivnost i zadovoljstvo radnika na čistom i učinkovitom radnom mjestu, te brži i fluidniji tok ispitivanja.

Rezultati dobiveni primjenom lean alata dovode do zaključka kako je pomoću lean menadžmenta uistinu moguće poboljšati i unaprijediti proizvodnju te povećati efikasnost i proizvodne kapacitete. Sve to je dovoljan razlog da se pristupi ovom načinu razmišljanja i da se lean sustav nastavi primjenjivati i u budućnosti.

## LITERATURA

- [1] N. Štefanić, N. Tošanović: Upravljanje znanjem i promjenama Lean proizvodnja - predavanja, 2011.
- [2] [http://tagtag.com/menadzment/iii\\_grupa\\_pitanja/2\\_pojam\\_i\\_definicija\\_proizvodnje](http://tagtag.com/menadzment/iii_grupa_pitanja/2_pojam_i_definicija_proizvodnje)
- [3] Ž. Radosavljević; R. Tomić: Menadžment u modernom biznisu, Univerzitet „Braća Karić“, Beograd, 2007.
- [4] A. Jovanović; S. Kisić; V. Božić: Poslovna ekonomija, Funkcije poduzeća, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd; 2004
- [5] <http://www.kingbridgecompany.com/>,  
<http://worldmaritimenews.com/archives/192125/danish-ship-finance-shipyards-could-be-left-without-orders-by-2017/>
- [6] <http://www.wisegeek.com/what-is-mass-production.htm>
- [7] [www.lean.org](http://www.lean.org)
- [8] <http://www.netauto.rs/srpski/news/article/stogodisnjica-montazne-linije-za-proizvodnju-automobila>
- [9] James P. Womack, Daniel T. Jones: Lean Thinking
- [10] T. Buksa: Diferencijacija upravljanja kvalitetom kod cikličkih projekata u brodograđevnoj industriji - doktorski rad, 2012.
- [11] N. Štefanić: Lean management - prezentacija, 2009.
- [12] A. Bertina: Implementacija lean managementa u poduzeću - diplomski rad, 2009.
- [13] M. Posilović: Diplomski rad, 2013.
- [14] <http://www.leanbih.com/index.php/hr/kanban>
- [15] [http://issuu.com/kvaliteta.net/docs/ercg\\_a\\_rad](http://issuu.com/kvaliteta.net/docs/ercg_a_rad)
- [16] <http://www.makigami.info/andon/>
- [17] <http://touchaddict.blogspot.hr/2014/05/word-of-day-pokayoke.html>
- [18] <http://www.makotoglobal.com/11/post>
- [19] KPT: Prezentacija vitke i zelene proizvodnje, 2012.
- [20] <http://www.six-sigma-material.com/Spaghetti-Diagram.html>
- [21] <https://multimomentanalysis.com/en/what-is-a-multi-moment-analysis-mma.html>
- [22] A. Smalley: A3 Thinking & Standardized Work - prezentacija
- [23] <http://www.cimlss.rs/standardni-rad/>

- [24] [www.artoflean.com](http://www.artoflean.com)
- [25] <http://tps-lean-posao.blogspot.hr/2012/03/12-metode-i-tehnike-lean-proizvodnje-i.html>
- [26] Lean training standard work - prezentacija
- [27] <http://www.lean.org/Workshops/WorkshopDescription.cfm?WorkshopId=20>
- [28] KPT: Organizacija, proizvodni program, refernce - prezentacija, 2011.
- [29] CRC Press: Electric power transformer engineering, 2004.
- [30] A. Carlson, J. Fuhr, G. Schemel, F.Wegscheider: Testing of Power Transformers, 2003.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc