

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ivan Barlović**

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Dr. sc. Hrvoje Cajner, doc.

Student:

Ivan Barlović

Zagreb, 2019. godina.

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

*Zahvaljujem se svom mentoru dr.sc. Hrvoju Cajneru na pomoći i savjetima prilikom izrade završnog rada.*

*Velika zahvala djelatnicima tvrtke „Končar – mjerni transformatori d.d.“ na iskazanoj susretljivosti i pomoći tijekom prikupljanja podataka bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć.*

***Posebno velika zahvala mojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci, velikoj motivaciji i pomoći tijekom studija.***

Ivan Barlović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
produktivno 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:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Barlović**

Mat. br.: 0035205732

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza proizvodnog procesa komponenti mjernog transformatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the production process of the instrument transformer**

Opis zadatka:

Mjerni transformatori su proizvodi čija je primarna uloga izoliranje mjernih i zaštitnih uređaja od visokog napona, kao i transformacija struja i napona na iznose koji su prilagođeni mjernim i zaštitnim uređajima. Zbog kompleksnosti konstrukcije i zahtijevanih uskih tolerancija kvalitete proizvodni postupak je vrlo složen. Povećanjem obujma proizvodnje te varijanti proizvoda potreba za optimizacijom proizvodnog procesa je nužna kako bi se osigurala isporuka u ugovorenom roku.

U radu je potrebno:

1. Opisati proizvodni asortiman tvrtke Končar - Mjerni transformatori d.d.
2. Za odabrani proizvod oblikovati funkcijsko vremensku mapu.
3. Odabrati ključan dio procesa i za njega izraditi mapu toka vrijednosti.
4. Analizirati te izraziti relevantne ključne pokazatelje.
5. Dati prijedlog unaprjeđenja.

Zadatak zadan:  
29. studenog 2018.

Rok predaje rada:  
1. rok: 22. veljače 2019.  
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.  
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.  
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.  
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zdao:

  
Dr. sc. Hrvoje Cajner, doc.

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
2. TVRTKA „KONČAR – MJERNI TRANSFORMATORI d.d.“ .....	2
2.1. ULJNI ASORTIMAN .....	6
2.2. EPOKSIDNI ASORTIMAN .....	12
2.3. TRANSFORMATORI IZOLIRANI PLINOM SF <sub>6</sub> .....	18
2.4. SPECIJALNI MJERNI TRANSFORMATORI.....	19
3. STRUJNI MJERNI TRANSFORMATOR AGU .....	21
3.1. FUNKCIJSKO VREMENSKA MAPA.....	24
4. IZRADA JEZGRI S NAMOTOM ZA AGU - 123 .....	26
4.1. MAPA TOKA VRIJEDNOSTI .....	26
5. ANALIZA PODATAKA.....	28
5.1. TRENUTNA EFIKASNOST PROCESA.....	40
6. PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA.....	43
6.1. ANALIZA DOBIVENIH PODATAKA.....	50
6.2. EFIKASNOST PROCESA NAKON UNAPRJEĐENJA.....	51
7. ZAKLJUČAK.....	53
LITERATURA.....	54

PRILOZI..... 55

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Kombinirani mjerni transformator VAU[1] .....	3
Slika 2.	Područje djelovanja u Africi.....	5
Slika 3.	Strujni mjerni transformator AGU[1].....	7
Slika 4.	Kapacitivni naponski mjerni transformator VCU[1].....	8
Slika 5.	Naponski mjerni transformator velike snage VPT[1] .....	9
Slika 6.	Induktivni naponski mjerni transformator VPU[1] .....	10
Slika 7.	Kombinirani mjerni transformator VAU[1] .....	12
Slika 8.	Naponski epoksidni transformator VPV[1].....	13
Slika 9.	Strujni epoksidni transformator INA[1] .....	14
Slika 10.	Strujni epoksidni transformator ASA[1] .....	15
Slika 11.	Strujni epoksidni transformator AGE[1] .....	16
Slika 12.	Strujni epoksidni transformator APE[1].....	17
Slika 13.	Kombinirani transformator izoliran plinom SF6[1] .....	18
Slika 14.	Visokonaponska prigušnica[1] .....	20
Slika 15.	Presjek tipa AGU[1] .....	21
Slika 16.	Funkcijsko vremenska mapa za AGU - 123.....	25
Slika 17.	Isječak mape toka vrijednosti .....	27
Slika 18.	Provjera normalnosti distribucije podataka .....	29
Slika 19.	Tablica normalne razdiobe[4] .....	31
Slika 20.	Aktivnosti u proizvodnom procesu[6].....	41
Slika 21.	Udio vremena trenutnog stanja procesa .....	42
Slika 22.	8 vrsta gubitaka u Vitkoj proizvodnji[2] .....	44
Slika 23.	5 osnovnih principa Vitke proizvodnje[6].....	46

Slika 24.	Vremena trajanja duljih operacija .....	47
Slika 25.	Tlocrt prije i nakon reorganizacije .....	48
Slika 26.	Udio vremena nakon unaprjeđenja procesa.....	52



## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Karakteristike izvedbe tipa AGU .....	6
Tablica 2. Karakteristike izvedbe tipa VPT .....	9
Tablica 3. Karakteristike izvedbe tipa VAU .....	11
Tablica 4. Tipovi AGU[1] .....	23

## **POPIS KRATICA**

VSM – *Value Stream Mapping* – Mapiranje toka vrijednosti

VAT – *Value-added activities time*- Aktivnosti koje dodaju vrijednost

NVAT – *Non-value-added activities time* – Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (neophodni gubitak)

WT – *Waste time* - Aktivnosti koje ne dodaju vrijednosti (čisti gubitak)

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
A	amper	jakost električne struje
kA	kilomper	jakost električne struje
V	volt	električna razlika potencijala; napon
kV	kilovolt	električna razlika potencijala; napon
VA	voltamper	snaga
kVA	kilovoltamper	snaga
kg	kilogram	Masa
mm	milimetar	visina

## **SAŽETAK**

Tematika ovog završnog rada odnosi se na prikupljanje i analizu podataka prikupljenih od konkretne tvrtke koja se bavi proizvodnjom mjernih transformatora. Cilj je dobivanje jasnije slike o ključnom dijelu procesa.

U početnom dijelu rada pobliže je opisana sama tvrtka te njen proizvodni asortiman. Nakon upoznavanja s poduzećem detaljno je opisan jedan od proizvoda koji se najviše proizvodi, ukratko je opisana funkcijsko vremenska mapa te je ista izrađena za odabrani proizvod. U središnjem dijelu rada detaljnije je opisan ključan dio procesa, ukratko je objašnjena mapa toka vrijednosti te je ista izrađena za ključan dio procesa. Uz to, provedena je analiza podataka s ciljem povećanja iskoristivosti opreme i efikasnosti procesa. U završnom dijelu, ponuđeno je nekoliko prijedloga poboljšanja proizvodnog procesa, poput reorganizacije prostornog rasporeda i smanjenja vremena trajanja samog procesa te opći zaključci o provedenoj analizi.

Ključne riječi: mjerni transformator, proces, funkcijsko vremenska mapa, analiza, VSM, efikasnost

## **SUMMARY**

The essay presents the analysis of the data gathered from the specific company that works on the production of instrument transformers. The aim is to get a clearer picture of the key part of the process.

The beginning of the essay offers a close description of the company and its production assortment. The introduction of the company is followed by a detailed description of one of the most produced products and a brief presentation of a time function map. The time function map is, as well, presented for the chosen product. The main part of this essay elaborates the key part of the process and explains a value stream map that was composed for the described process. Besides that, the analysis of the data was conducted for the purpose of increasing the use of the equipment and the efficiency of the process. The conclusion offers a few suggestions on how to improve the production process, such as re-organisation of the spatial layout and reduction of the time needed for the process itself. It contains general conclusions about conducted analysis, as well.

Key words: instrument transformer, process, time function map, analysis, VSM, efficiency



## 1. UVOD

Kao završetak preddiplomskog studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu napisan je završni rad na temu „Analiza proizvodnog procesa komponenti mjernog transformatora“. Iz analize proizlaze načini na koje je moguće povećati efikasnost procesa i iskoristivosti opreme. Sami proces povećanja učinkovitosti procesa i iskoristivosti opreme provodi se u nekoliko faza. Kvantitativna analiza svakog procesa moguća je tek nakon provedenih mjerenja i dobivanja uvida u realno stanje procesa. Snimanje realnog stanja bitno je i zbog usporedbe sa stanjem nakon uvođenja promjena te procjene da li je došlo do poboljšanja. Nakon provedenih mjerenja potrebno je izraditi funkcijsko vremensku mapu koja grafički prikazuje slijed faza u proizvodnom procesu, njihovo vremensko trajanje i međusobno povezanost. Nakon toga izrađuje se mapa toka vrijednosti koja grafički prikazuje trenutno stanje u procesu te se jednostavnije može uočiti gdje nastaju gubici u proizvodnom procesu. U sljedećoj fazi predlažu se promjene za koje se očekuje da će donijeti poboljšanje i skratiti vrijeme proizvodnog procesa. Promjene se kvantitativno analiziraju te ukoliko su postignuta poboljšanja usvaja se novi način izvođenja te se nastavlja težiti daljnjim poboljšanjima.

Kao tema završnog rada odabran je proizvodni proces u tvrtki „Končar – mjerni transformatori d.d.“. Unutar samog završnog rada zadatak je bio opisati proizvodni asortiman tvrtke, za odabrani proizvod oblikovati funkcijsko vremensku mapu, odabrati ključan dio procesa i za njega izraditi mapu toka vrijednosti, analizirati relevantne ključne pokazatelje te dati prijedlog unaprjeđenja. Unutar tvrtke odabran je mjerni transformator tipa AGU-123 kao jedan od najfrekventnijih proizvoda po pitanju proizvodnje. Isto tako, kao ključan dio procesa odabrana je izrada jezgri s namotom zbog činjenice da je to prva faza u proizvodnji samo proizvoda. U analiziranom poduzeću potrebno je analizirati trenutno stanje te predložiti načine smanjenja vremena trajanja proizvodnog procesa, odnosno povećanja efikasnosti samog procesa.

## 2. TVRTKA „KONČAR – MJERNI TRANSFORMATORI d.d.“

„Končar – mjerni transformatori d.d.“ tvrtka je koja proizvodi mjerne transformatore već više od 65 godine čime su stekli respektabilno iskustvo u području proizvodnje, ali i u području inovacija i razvoja. Tvrtka je dio veće Grupe, „Končar – elektroindustrija d.d.“ i pripada njenom ključnom poslovnom području, Energija i Transport. „Končar – elektroindustrija d.d.“ je hrvatska najveća i najznačajnija grupacija pridruženih trgovačkih društava za projektiranje, proizvodnju, montažu, razvoj i održavanje opreme i postrojenja u područjima energije, industrije i kućanskih aparata. Grupa je osnovana 1921.godine te od godine osnutka do 1991.godine promijenila nekoliko imena, a od 1991.godine djeluje i posluje pod današnjim imenom.

Tvrtka je svjesna činjenice da su zaposlenici srž svih dodanih vrijednosti koje se pružaju te da su oni najznačajniji i najvažniji resurs u poslovanju. Stoga, menadžment tvrtke ulaže značajna sredstva u njihov profesionalni i osobni razvoj. Pravovremeno prepoznavanje potreba za određenim znanjima od presudnog je značaja. Samim time, kvalifikacijska struktura osoblja i sustav stalnog osposobljavanja osigurava tvrtki da djelatnici imaju potrebna znanja i vještine za učinkovito izvršavanje zadataka.

Tvrtka se bavi proizvodnjom mjernih transformatora čija se impregnacija može vršiti uljem, plinom SF<sub>6</sub> ili epoksidnom smolom. Svi proizvodi tvrtke rezultat su njenog iskustva i razvoja što rezultira brojnim rješenjima originalnog karaktera usmjerenim ka omogućavanju značajnih prednosti njezinih korisnika. 70 – ih godina prošlog stoljeća tvrtka je uspješno primijenila izvedbu mjernog transformatora s otvorenom jezgrom u induktivnim naponskim transformatorima. „Končar – mjerni transformatori d.d.“ od tada je u potpunosti razvio i trenutno su jedini proizvođač na svijetu takvih vrsta transformatora. Nekoliko godina kasnije jačina i snaga tvrtke ponovno je došla na vidjelo. Razvijen je kombinirani mjerni transformator[Slika 1] koji uključuje prednosti otvorene jezgre i jedinstven je po zajedničkom izolacijskom sustavu za strujni i naponski dio.





**Slika 1. Kombinirani mjerni transformator VAU[1]**

Konkurentna rješenja tvrtke, koja uključuju nove materijale i tehnologije, nadahnuta su i potaknuta očekivanjima i zahtjevima svjetskog tržišta. Važnu ulogu u cjelokupnom poslovanju i poslovnoj strategiji tvrtke imaju njezini suradnici: Končar – Institut za elektrotehniku d.d., Fakultet elektrotehnike i računalstva (sveučilište u Zagrebu) i Iskra Grupa. Rezultati suradnje očituju se u više segmenata proizvodnih procesa tvrtke. Prije svega, suradnja s Fakultetom elektrotehnike i računalstva jamči redovito uključivanje adekvatno obrazovnih stručnjaka u rad tvrtke. Nadalje, suradnja s regionalnim liderom u automatizaciji, telekomunikacijama te električnim komponentama i uređajima (Iskra Grupa) omogućuje uvođenje nekonvencionalnih mjernih transformatora u proizvodni program tvrtke i prikupljanje iskustava bitnih za rješenja potrebna za pametne električne mreže.

Laboratoriji Končara posjeduju uređaje potrebne što, dijelom, služi kao temeljni preduvjet za istraživanje i razvoj. Svaki proizvedeni transformator provjeren je prema svim odnosnim standardima što mu daje globalni karakter. Ispitni lanac obuhvaća visokonaponski i srednje naponski ispitni laboratorij te nekoliko ispitnih mjesta koja služe za provjere tijekom proizvodnog procesa. Posjedovanje takvih ispitnih stanica daje iznimnu prednost jer su unutar tvornice dostupna sva sredstva potrebna za rutinska, tipska i specijalna ispitivanja za sve proizvode koji se proizvode.

„Končar – mjerni transformatori d.d.“ vodi se filozofijom da je ispunjenje zahtjeva kupca i poštivanje nadležnih normi u izradi transformatora obveza od najveće važnosti pa se za svaku narudžbu provodi planiranje i upravljanje procesima prema utvrđenim i propisanim postupcima. Svi postupci provode se sukladno zakonskoj regulativi koja ima utjecaja na aktivnosti i proizvode same tvrtke, uključujući zaštitu zdravlja i sigurnosti radnika i zaštitu okoliša. Politika upravljanja zaštitom na radu i sigurnošću usuglašena je s vrstama i razinama rizika koji proizlaze iz izrađene „Procjene opasnosti“. Tvrtka će svaki pojedini transformator, u svakoj naručenoj količini i u svakoj naknadno ponovljenoj proizvodnji, proizvesti prema naručenoj specifikaciji kupca, poštujući odgovarajuće nacionalne i međunarodne norme.

Odnos s kupcima i dobavljačima se zasniva i održava na obostranom povjerenju, a posebno prilikom usklađivanja termina, specifikacija i zahtjeva na kvalitetu.

U cilju stalnog porasta kvalitete proizvoda tvrtka razvija nova tehnička i tehnološka rješenja, a po njihovom usvajanju, prihvaća ih kao standardna rješenja. Novim rješenjima sustavno obnavlja tvorničke podloge i radne upute. Pritom, dakako, razmatra mogućnosti primjene materijala i opreme koji su povoljniji za okoliš. S otpadom se postupa na način da se osigura što veća mogućnost njegove ponovne korisne uporabe.

„Končar – mjerni transformatori d.d.“ trajno provodi školovanje osoblja u radnim sredinama i izvan tvornice s ciljem stalnog poboljšavanja kvalitete u izvršavanju zadataka, učinkovite primjene mjera zaštite zdravlja i sigurnosti te poboljšavanja odnosa prema okolišu.

Pošto je tvrtka jedan od najvećih i najjačih svjetskih proizvođača mjernih transformatora u svijetu (nekim vrsta mjernih transformatora i jedini proizvođač u svijetu), područje njezinog djelovanja, odnosno područje njezinih kupaca je na svim naseljenim kontinentima svijeta (Europa, Australija, Afrika, Azija, Južna Amerika, Sjeverna Amerika).

Države Europe iz kojih dolaze kupci tvrtke su: Albanija, Austrija, Bjelorusija, Bosna i Hercegovina, Bugarska, Crna Gora, Češka Republika, Estonija, Grčka, Izrael, Kosovo, Latvija, Litva, Mađarska, Makedonija, Njemačka, Poljska, Rumunjska, Rusija, Slovenija, Srbija, Švedska i Ukrajina te naravno Hrvatska.

Azijski kupci koji mjerne transformatore naručuju u „Končar – mjerni transformatori d.d.“ dolaze iz sljedećih država: Filipini, Indija, Indonezija, Iran, Jordan, Južna Koreja, Kazahstan, Malezija, Mianmar, Saudijska Arabija, Sirija, Tajland, Vijetnam.

Tvrtka svoje proizvode i usluge isporučuje u sljedeće države Južne Amerike: Argentina, Bolivija, Čile, Dominikanska Republika, Salvador, Trinidad i Tobago, Urugvaj i Venezuela.



**Slika 2. Područje djelovanja u Africi**

[Slika 2] prikazuje područje djelovanja u Africi koje se odvija u sljedećim zemljama: Alžir, Egipat, Južnoafrička Republika, Nigerija i Senegal.

Kanada i Sjedinjene Američke Države su dvije države iz Sjeverne Amerike s kojima tvrtka, također, često posluje.

## 2.1. ULJNI ASORTIMAN

Uljem izolirani mjerni transformatori predstavljaju glavninu proizvodnog asortimana tvrtke. Takvi transformatori dijele se na strujne, naponske i kombinirane mjerne transformatore. U nastavku su prikazani osnovni tipovi uljem izoliranih mjernih transformatora.

### ➤ **MJERNI TRANSFORMATOR AGU**

Tip AGU je strujni mjerni transformator koji se koristi za prilagodbu mjerenih visokih struja na iznose unutar definirane točnosti pogodne za priključak uređaja na mjerenje, zaštitu i upravljanje, ujedno ih izolirajući od visokog napona mreže. [Tablica 1] prikazuje specifičnosti izvedbe ovog tipa transformatora.

**Tablica 1. Karakteristike izvedbe tipa AGU**

Maksimalni pogonski napon	72,5 kV do 800 kV
Nazivna primarna struja	do 6000 A
Kratkotrajna struja	do 100 kA
Broj jezgara	5 (na zahtjev 10)



**Slika 3. Strujni mjerni transformator AGU[1]**

[Slika 3] prikazuje mjerni transformator tipa AGU koji ima sljedeće specifične karakteristike:

- izvedba s jezgrama u gornjem dijelu transformatora (inverzni tip) osigurava niske gubitke u primarnom namotu
- mogućnost promjene prijenosnog omjera na primarnom i/ili sekundarnom namotu
- niska rasipna reaktancija
- visokokvalitetna papirno-uljna izolacija
- jezgre smještene unutar uzemljenog oklopa dimenzioniranog za odvođenje struje kratkog spoja

➤ ***MJERNI TRANSFORMATOR VCU***

Tip VCU je kapacitivni naponski transformator koji se koristi za prilagodbu mjerenih visokih napona na iznose unutar definirane točnosti pogodne za priključak uređaja za mjerenje, zaštitu i upravljanje, ujedno ih izolirajući od visokog napona mreže. Mogu se istovremeno koristiti i kao vezni kondenzatori za prijenos visokofrekventnog signala.



**Slika 4. Kapacitivni naponski mjerni transformator VCU[1]**

[Slika 4] prikazuje tip VCU koji ima sljedeće karakteristike:

- maksimalni pogonski napon: od 72,5 kV do 8000 kV
- standardno 3 sekundarna namota (na zahtjev do 6)
- priključak za visokofrekventnu komunikaciju
- suvremena tehnologija izolacije kondenzatora – miješani dielektrik sa sintetičkim impregnantom
- ekstremno nizak faktor dielektričkih gubitaka
- praktički bez povišenja temperature u pogonu
- visoka stabilnost vrijednosti kapaciteta s obzirom na promjene temperature i tijekom životne dobi
- hermetički zabrtvljen sustav
- odcjepi na sekundarnim namotima omogućavaju varijacije nazivnog prijenosnog omjera

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR VPT**

Tip VPT je naponski mjerni transformator velike snage namijenjen spajanju na visokonaponsku mrežu i prijenosu snage izravno na niski napon, a s ciljem opskrbe udaljenih potrošača na mjestima gdje distribucijska mreža nije dostupna ili kako bi se na ekonomičan način osiguralo napajanje elemenata visokonaponskih postrojenja. [Tablica 2] prikazuje karakteristike izvedbe ovog tipa mjernog transformatora.

**Tablica 2. Karakteristike izvedbe tipa VPT**

Maksimalni pogonski napon	od 72,5 kV do 550 kV
Nazivna snaga	5 – 167,5 kVA
Nazivna frekvencija	50 ili 60 Hz



**Slika 5. Naponski mjerni transformator velike snage VPT[1]**

[Slika 5] prikazuje tip VPT koji ima sljedeće specifične karakteristike:

- nazivni sekundarni napon prema zahtjevu kupca
- izravan prijenos energije s visokog na niski napon
- mogućnost paralelno – serijskog prespajanja energetskog namota
- garantirano brtvljenje – svaki transformator vakuumski je ispitan

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR VPU**

Tip VPU je induktivni naponski transformator koji se koristi za prilagodbu mjerenih visokih frekvencija napona na iznose unutar definirane točnosti pogodne za priključak uređaja za mjerenje, zaštitu i upravljanje, a ujedno ih izolirajući od visokog napona mreže.



**Slika 6. Induktivni naponski mjerni transformator VPU[1]**

[Slika 6] prikazuje tip mjernog transformatora VPU koji ima sljedeće specifične karakteristike:

- maksimalni pogonski napon: od 72,5 kV do 550 kV



- do 6 sekundarnih namota
- mogućnost velikog termičkog opterećenja: do 2500 VA u standardnoj izvedbi, na zahtjev dostupni veći tereti

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR VAU**

Tip VAU je kombinirani mjerni transformator koji se koristi za prilagodbu mjerenih visokih napona i struja na iznose definirane točnosti pogodne za priključak uređaja za zaštitu, mjerenje i upravljanje. Ujedno izolira priključene uređaje od visokog napona mreže. [Tablica 3] prikazuje karakteristike izvedbe ovog tipa mjernog transformatora.

**Tablica 3. Karakteristike izvedbe tipa VAU**

Maksimalni pogonski napon	72,5 do 550 kV
Nazivna primarna struja	do 6000 A
Kratkotrajne struje	do 100 kA
Broj jezgara strujnog transformatora	5 (na zahtjev do 10)
Broj sekundarnih namota naponskog transformatora	3 (na zahtjev do 6)

[Slika 7] prikazuje tip mjernog transformatora VAU koji posjeduje prednosti i strujne i naponske izvedbe pri čemu znatno osigurava uštede u prostoru i cijeni.



**Slika 7. Kombinirani mjerni transformator VAU[1]**

## **2.2. EPOKSIDNI ASORTIMAN**

Primjetan udio u proizvodnji tvrtke čine mjerni transformatori kod kojih se kao izolacijsko sredstvo koristi visokokvalitetna epoksidna smola odličnih izolacijskih i mehaničkih svojstava. Epoksidna smola lijeva se pod visokim vakuumom. Epoksidni asortiman dijeli se na strujne i naponske mjerne transformatore. Strujni mjerni transformatori jednofazni su jednopolno izolirani transformatori, a koriste se za prilagodbu mjerenih struja na visokom naponu na iznose unutar definirane točnosti, pogodne za priključak uređaja za mjerenje, zaštitu i upravljanje. Ujedno izoliraju priključene uređaje od visokog napona mreže. Naponski mjerni transformatori namijenjeni su za odvajanje mjernih i zaštitnih uređaja od visokog napona i za transformaciju primarnih namota na iznos prilagođen mjernim i zaštitnim uređajima s definiranim razredom točnosti.

### **➤ MJERNI TRANSFORMATOR VPVI-VLA1-VPV**

Tipovi VPV1 i VLA1 su jednopolno izolirani naponski transformatori, a tip VPV je dvopolno izoliran naponski transformator.[Slika 8] prikazuje naponski epoksidni mjerni transformator za vanjsku ugradnju tipa VPV koji ima sljedeće prepoznatljive karakteristike:

- jezgre motane i izrađene od hladno valjanog orijentiranog magnetskog lima
- niskonaponski i visokonaponski namoti izrađeni od visokokvalitetne lakirane bakrene žice
- međuslojna izolacija izrađena od specijalnog višeslojnog izolacijskog materijala
- visokonaponski priključci izrađeni od nehrđajućeg čelika
- proizvode se s jednim ili dva sekundarna namota za mjerenje ili zaštitu
- sekundarni priključci smješteni u zabrtvljenu kutiju koja je opremljena s dvije kableske brtvene uvodnice



**Slika 8. Naponski epoksidni transformator VPV[1]**

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR INA**

Transformatori ovog tipa spadaju u skupinu transformatora za unutarnju ugradnju. Predviđeni su za ugradnju u zatvorene prostore te montažu u svim položajima. [Slika 9] prikazuje mjerni transformator tipa INA koji ima sljedeće specifične karakteristike:

- namijenjeni za pogone gdje su nazivne primarne struje iznosa do 2500 A
- izrađuju se kao primarno prespojivi u omjeru 1:2 do 2x400 A ili neprespojivi do 2500 A
- sekundarni priključci zatvaraju se poklopcem pomoću vijaka za plombiranje
- spajanje sekundarnih priključaka se izvodi pomoću vijaka M5



**Slika 9. Strujni epoksidni transformator INA[1]**

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR ASA**

Ovaj tip transformatora koristi se, također, za unutarnju ugradnju. Predviđeni su za ugradnju u zatvorene prostore te montažu u svim položajima.



**Slika 10. Strujni epoksidni transformator ASA[1]**

[Slika 10] prikazuje tip ASA. Ovi transformatori namijenjeni su za pogone gdje su nazivne primarne struje od 200 A do 3500 A. Izrađuju se kao primarno neprespojivi transformatori. Primarni priključci izrađeni su od elektrolitskog bakra i zaštićeni od korozije galvanskim niklanjem ili kositrenjem.

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR AGE**

Tip AGE spada u skupinu transformatora za vanjsku ugradnju. Koriste se za ugradnju u otvorene prostore te montažu na horizontalnu podlogu.



**Slika 11. Strujni epoksidni transformator AGE[1]**

[Slika 11] prikazuje tip mjernog transformatora AGE koji ima sljedeće karakteristike:

- namijenjeni za pogone gdje su nazivne primarne struje iznosa do 200 A do 3500 A
- po potrebi, omjer transformacije može se mijenjati i na strani sekundarnih priključaka korištenjem odcjepa sekundarnih namota
- primarni priključci izrađeni od elektrolitskog bakra ili aluminija
- zaštita primarnih priključaka prema zahtjevu kupca (galvansko niklanje, kositrenje ili srebrenje)

- sekundarni priključci smješteni u zabrtvljenu kutiju koja je opremljena kabelskim brtvenim uvodnicama

➤ **MJERNI TRANSFORMATOR APE**

Transformatori ovog tipa pripadaju skupini za vanjsku ugradnju. Namijenjeni su za ugradnju u otvorene prostore te montažu na horizontalu podlogu.



**Slika 12. Strujni epoksidni transformator APE[1]**

[Slika 12] prikazuje tip mjernog transformatora APE koje karakteriziraju sljedeće karakteristike:

- namijenjeni za pogone gdje su nazivne primarne struje iznosa do 800 A
- izrađuju se kao primarno prespojivi u omjeru 1:2 do 2x500 A ili neprespojivi do 800 A
- sekundarni priključci smješteni u zabrtvljenu kutije opremljenu s dvije kabelske brtvene uvodnice

- spajanje sekundarnih priključaka pomoću vijaka M8 od nehrđajućeg čelika

### 2.3. TRANSFORMATORI IZOLIRANI PLINOM SF6

Ovaj tip mjernih transformatora predstavlja najnoviji proizvodni dodatak proizvodnom programu tvrtke. Samostojeći visokonaponski mjerni transformatori izolirani plinom SF6, prezentirani 2013. godine, konstruirani su i projektirani kako bi se zadovoljile potrebe i zahtjevi suvremenog tržišta, a koriste se za vanjsku montažu. Glavne prednosti ove vrste transformatora su: prilagodljiv dizajn, vrlo visoka pouzdanost i pogonska sigurnost te činjenica da plin SF6 donosi specifične i značajne prednosti kao glavni izolacijski medij.



**Slika 13. Kombinirani transformator izoliran plinom SF6[1]**

[Slika 13] prikazuje jednu od tri vrste mjernih transformatora izoliranih plinom SF6 – kombinirani transformator. Uz kombinirani transformator, postoje još strujni i naponski mjerni transformator.



## **2.4. SPECIJALNI MJERNI TRANSFORMATORI**

Tvrtka, osim proizvodnje transformatora za komercijalnu upotrebu, proizvodi transformatore i za svoje vlastite potrebe. Najveća potreba javlja se u svezi s ispitnim stanicama gdje do izražaja dolaze specifična znanja u području preciznog mjerenja i visokonaponske izolacije. Za takve potrebe proizvode se specijalni mjerni transformatori i to:

- **STRUJNE I NAPONSKE NORMALE**
- **VISOKONAPONSKI ISPITNI TRANSFORMATORI**
- **STRUJNI IZVORI**
- **VISOKONAPONSKA PRIGUŠNICA**

Strujne i naponske normale koriste se za precizna mjerenja napona, struja i snaga u širokim rasponima u ispitnim laboratorijima. Njihove glavne karakteristike, a ujedno i prednosti su visoke klase točnosti i širok spektar omjera transformacije.

Visokonaponski ispitni transformatori su poseban tip mjernih transformatora koji zamjenjuju izvor visokog napona u ispitnim stanicama i u pravilu su jednopolno izolirani. Priključenjem ispitnog transformatora na izvor promjenjivog napona mjeri se promjena iznosa sekundarnog napona.

Strujni izvori predstavljaju posebno konstruirane transformatore koji na niskonaponskoj strani osiguravaju struje potrebnog iznosa za mjerenje klase točnosti strujnih transformatora kao i za potrebe mjerenja zagrijavanja strujnih transformatora i ostale opreme.

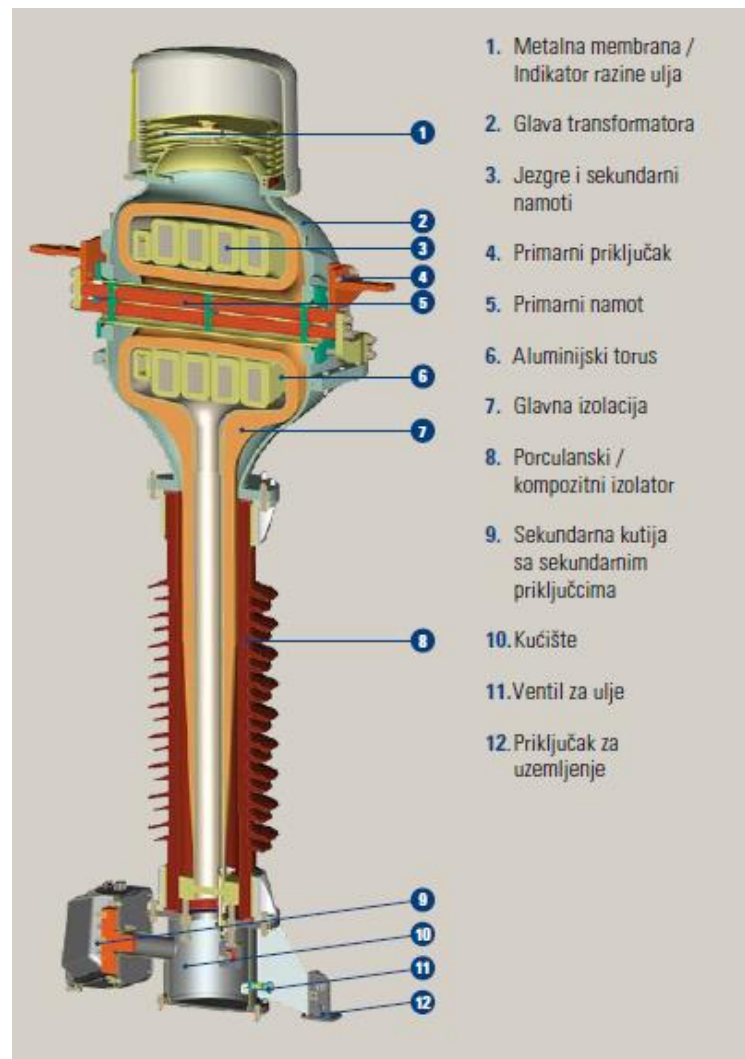


**Slika 14. Visokonaponska prigušnica[1]**

[Slika 14] prikazuje visokonaponsku prigušnicu koju karakterizira jedinstvena izvedba jezgre i glavne izolacije. Ovakva prigušnica koristi se za kompenzaciju izrazito kapacitivnih tereta te smanjenje kapacitivne struje u ispitnim krugovima.

### 3. STRUJNI MJERNI TRANSFORMATOR AGU

Tip AGU je jedan od mjernih transformatora koji ima najveću frekvenciju proizvodnje unutar tvrtke. Kompleksnost njegove izrade omogućava dugotrajnost i pouzdanost, odnosno životni vijek preko 50 godina, što izaziva velik interes kupaca diljem svijeta. Zbog navedenog u nastavku je detaljnije objašnjen ovaj tip mjernog transformatora te je za njega izrađena funkcijsko vremenska mapa.



Slika 15. Presjek tipa AGU[1]

[Slika 15] prikazuje presjek mjernog transformatora tipa AGU na kojem se vidi spomenuta složenost njegove izrade.

Primarni namot može imati jedan ili više zavoja, ovisno o specifičnim zahtjevima. U slučaju primarnog namota s jednim zavojem, namot predstavlja ravan vodič, dok se kod potrebe za višestrukim zavojima koriste vanjski povratni vodiči ili unutarnji kablovi.

U slojeve papirne izolacije tijekom proizvodnje umeće se velik broj poluvodljivih kapacitivnih obloga, kako bi se optimalno rasporedilo dielektrično naprežanje. Papirna izolacija se suši u visokom vakuumu i impregnira mineralnim transformatorskim uljem. Ulje je vrhunske kvalitete, s dodatkom inhibitora, potpuno otplinjeno i osušeno. Navedeno osigurava odlična i dugotrajna dielektrička svojstva glavne izolacije transformatora.

Jezgre mogu biti izrađene od hladno valjanog orijentiranog transformatorskog lima, mekih magnetskih materijala ili amorfnih materijala. Izbor materijala ovisi o zahtijevanoj klasi točnosti pojedine jezgre.

Sekundarni je namot izrađen od visokokvalitetne lakirane bakrene žice jednoliko namotane duž cijelog oboda prstenaste jezgre. Primarni namot nalazi se u njezinom centru.

Izolator može biti porculanski ili kompozitni. Porculanski izolatori izrađeni su od najkvalitetnijeg porculana. Osnovu kompozitnih izolatora čini cijev od epoksidne smole ojačane staklenim vlaknima na koju su vulkanizirana silikonska rebra. Klizna staza izolatora određena je razinom onečišćenja zraka okoline.

Aktivni dio transformatora nalazi se unutar glave transformatora izrađene od lijevanog aluminija. Glava je dizajnirana s ciljem da se postigne minimalno potrebna količina ulja. Svaki odljev provjerava se na nepropusnost ispitivanjem helijem.

Kućište transformatora izrađeno je od visokokvalitetnog vruće cinčanog čelika i dodatno obojano radi dugotrajne otpornosti na koroziju. Kućište može biti izrađeno i od lijevanog aluminija. Na njemu se nalazi sekundarna priključna kutija, zajedno s ostalim dodacima kao što su natpisna pločica, ventil za uzimanje uzorka ulja, hvatišta za podizanje transformatora, priključci za

uzemljenje, priključak za mjerenje kuta dielektričnih gubitaka izolacije te indikator nad pritiska ulja.

Primarni priključci izrađeni su od aluminijske legure ili elektrolitskog bakra zaštićenog od korozije kositrenjem ili elektrolitičkim srebrenjem. Oblik i tip priključka odabire se prema nazivnim strujama. Sekundarni priključci, zajedno s priključkom za uzemljenje, smješteni su u sekundarnoj priključnoj kutiji. Ulaz u kutiju izveden je kabelskim uvodnicama na ploči.

**Tablica 4. Tipovi AGU[1]**

Tip	Najviši napon sustava [kV]	Ukupna visina[mm]	Ukupna masa[kg]	Masa ulja[kg]
AGU – 72,5	72,5	2050	280	55
AGU – 123	123	2300	320	65
AGU – 145	145	2650	350	75
AGU – 170	170	2850	420	85
AGU – 245	245	3700	600	190
AGU – 300	300	3700	620	190
AGU – 362	362	4750	1000	320
AGU – 420	420	5400	1300	380

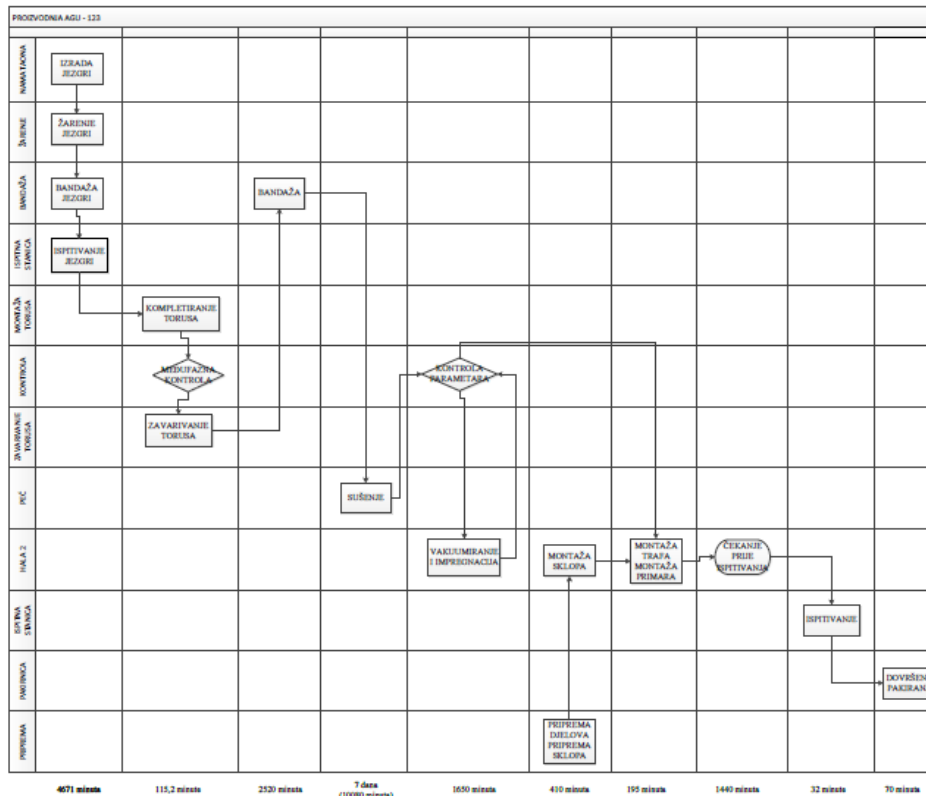
---

AGU – 525	550	6000	1450	470
AGU - 765	800	8135	3100	950

[Tablica 4] prikazuje dimenzije transformatora prema tipu transformatora iz koje se vidi da tip transformatora određuje najviši napon sustava te da s porastom napona sustava raste ukupna visina samog transformatora kao i njegova ukupna masa te masa potrebnog ulja.

### 3.1. FUNKCIJSKO VREMENSKA MAPA

Mapiranje je aktivnost čiji su proizvodi crteži koji se nazivaju mape. Mapiranje najbolju i najočitiju primjenu nalazi u upravljanju proizvodnjom gdje otkriva povezanost pojedinih aktivnosti, odnosno njihov tok te vremensko trajanje svake pojedine aktivnosti. Postoji nekoliko vrsta mapa koje se mogu dobiti mapiranjem. Osnovna mapa koja proizlazi iz mapiranja je funkcijsko vremenska mapa. Taj tip mape grafički opisuje proizvodni proces od njegovog početka pa do samog kraja pritom uzimajući u obzir međusobnu ovisnost operacija, njihov slijed te vremensko trajanje. U nastavku je prikazana funkcijsko vremenska mapa za proizvodnju mjernog transformatora tipa AGU – 123 koja se odnosi na dio same proizvodnje navedenog tipa transformatora u proizvodnom pogonu.



Slika 16. Funkcijsko vremenska mapa za AGU - 123

Iz funkcijsko vremenske mape za AGU – 123 [Slika 16] vidi se da u proizvodnji navedenog transformatora najdulje traje operacija sušenja (7 dana). Isto tako moguće je uočiti kako priprema dijelova te priprema i montaža sklopa predstavljaju operacije koje mogu početi neovisno o početku proizvodnog procesa izrade samog transformatora. Za spomenute operacije jedino je bitno da budu gotove prije ili u isto vrijeme kada završava i operacija vakuumiranja i impregnacije, odnosno kontrola parametara te operacije. Operacija montaže transformatora može započeti samo ukoliko su ispunjena oba gore spomenuta uvjeta, odnosno: završena je kontrola parametara vakuumiranja i impregnacije te je završena priprema dijelova, priprema sklopa te njegova montaža. Naposljetku, zaključuje se da je ukupno prosječno vrijeme potrebno da transformator prođe kroz proces proizvodnje u proizvodnom pogonu suma prosječnog trajanja svake aktivnosti, odnosno 11 103,2 minute (185,053 sata) ukoliko se oduzme vrijeme sušenja koje traje 7 dana.

## **4. IZRADA JEZGRI S NAMOTOM ZA AGU - 123**

Proces proizvodnje, odnosno izrade svakog mjernog transformatora pa tako i transformatora tipa AGU – 123 započinje izradom jezgre, uključujući namatanje same jezgre žicom. Proces izrade jezgre s namotom sastoji se od 5 glavnih operacija koje su povezane mnogim međuoperacijama. Ključnih 5 operacija za izradu jezgre s namotom je:

- ručna priprema jezgre
- strojno namatanje mjernog dijela jezgre
- strojno namatanje zaštitnog dijela jezgre
- ispitivanje jezgre
- dovršenje jezgre

Zbog složenosti izrade svake jezgre te zbog činjenice da je proces izrade jezgre s namotom početni proces za izradu svakog transformatora, ovaj proces odabran je kao ključan proces u proizvodnji mjernog transformatora. U nastavku je prikazana mapa toka vrijednosti, detaljna analiza podataka mjerenja svake operacije i međuoperacije navedenog procesa te dat prijedlog unaprjeđenja samog procesa izrade jezgara s namotom mjernog transformatora tipa AGU – 123. Mjerni transformator tipa AGU – 123 sadrži 5 jezgri s namotom, no sve analize su provedene za proces izrade jedne jezgre s namotom te je za isti proces (jedna jezgra s namotom) dat prijedlog poboljšanja.

### **4.1. MAPA TOKA VRIJEDNOSTI**

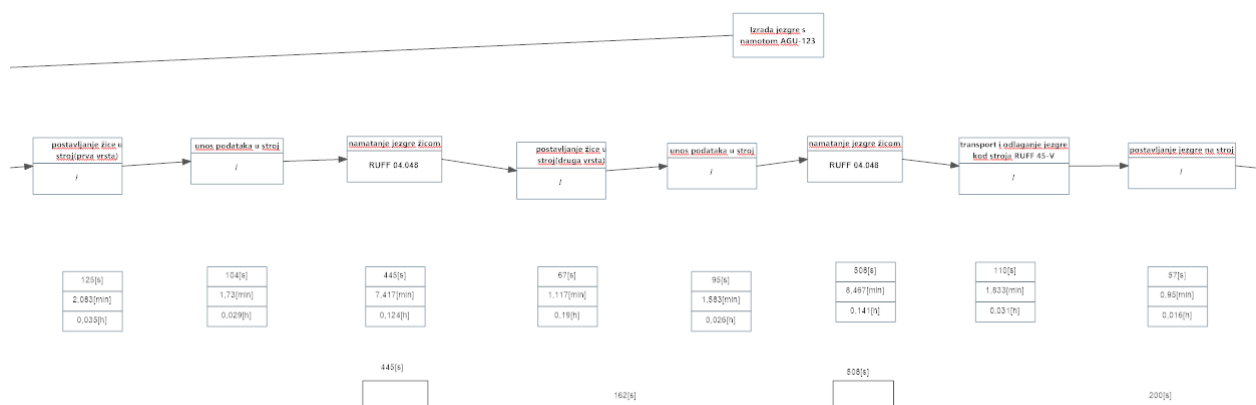
Mapiranje toka vrijednosti (engl. VSM – *Value Stream Mapping*) je vizualni prikaz toka materijala i informacija od trenutka primanja narudžbe do isporuke proizvoda kupcu. To je zapravo dijagnostički alat koji:

- pokazuje povezanost između toka materijala i informacija za određeni proizvod ili proces
- pomaže pri planiranju poboljšanja



- pomaže pri razlikovanju aktivnosti koje dodaju vrijednost od onih koje ne dodaju vrijednost (rasipanja)[2]

Mape toka vrijednosti moraju prikazivati realno stanje sustava, a ne da budu procedure koje objašnjavaju kako se proizvodni procesi odvijaju u idealnim uvjetima. Postoje dvije vrste mape toka vrijednosti. Prva je mapa trenutnog stanja koja opisuje procese kakvi trenutno jesu, odnosno njihovu realno stanje. Druga mapa predstavlja buduće stanje, a opisuje idealno stanje zasnovano na korištenju lean metoda i tehnika poduzeća.



**Slika 17. Isječak mape toka vrijednosti**

Izradom mape toka vrijednosti postiže se bolje razumijevanje procesa te je uz pomoć grafičkog prikaza jednostavnije uočiti gdje je moguće postići poboljšanja i unaprijediti proizvodni proces, tj. povećati njegovu efikasnost. [Slika 17] prikazuje kronološki redoslijed operacija koje se odvijaju u samom procesu, a koje su potrebne za ostvarivanje cilja-izradu jezgri s namotom.

## 5. ANALIZA PODATAKA

U tvrtci „Končar – mjerni transformatori d.d.“ izmjerena su vremena svake operacije i međuoperacije u procesu izrade jezgre s namotom za mjerni transformator tipa AGU-123. Pomoću dobivenih rezultata provedena je statistička analiza podataka pri čemu su izračunani ključni relevantni pokazatelji: aritmetička sredina, standardna devijacija, provjera normalnosti distribucije podataka, intervalna procjena očekivanja osnovnog skupa, vremenska iskoristivost strojeva (uz aritmetičke sredine, standardne devijacije i intervalne procjene), udio svake pojedine aktivnosti u cjelokupnom procesu te efikasnost samog procesa.

### ➤ *Aritmetička sredina*

Aritmetička sredina predstavlja sumu svih elemenata u populaciji podijeljenu s brojem elemenata u populaciji. U promatranom slučaju aritmetička sredina prikazuje prosječno trajanje cijelog procesa izrade jezgri s namotom za mjerni transformator tipa AGU – 123. Njen iznos računa se prema izrazu (1):[3]

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

N - broj elemenata u populaciji (u ovom slučaju iznosi 20 jer je provedeno 20 mjerenja)

$x_i$  – iznos svakog pojedinog elementa u populaciji ( $i=1,2,3,\dots,N$ ; u ovom slučaju iznosi predstavljaju sumu vremena svakog mjerenja, odnosno zbroj vremena svake operacije i međuoperacije u svakom od 20 mjerenja )

$$\bar{x} = 5351,0 \text{ s} \quad (2)$$

Prosječno trajanje procesa izrade jezgri s namotom iznosi 5351 sekundu.

➤ **Standardna devijacija**

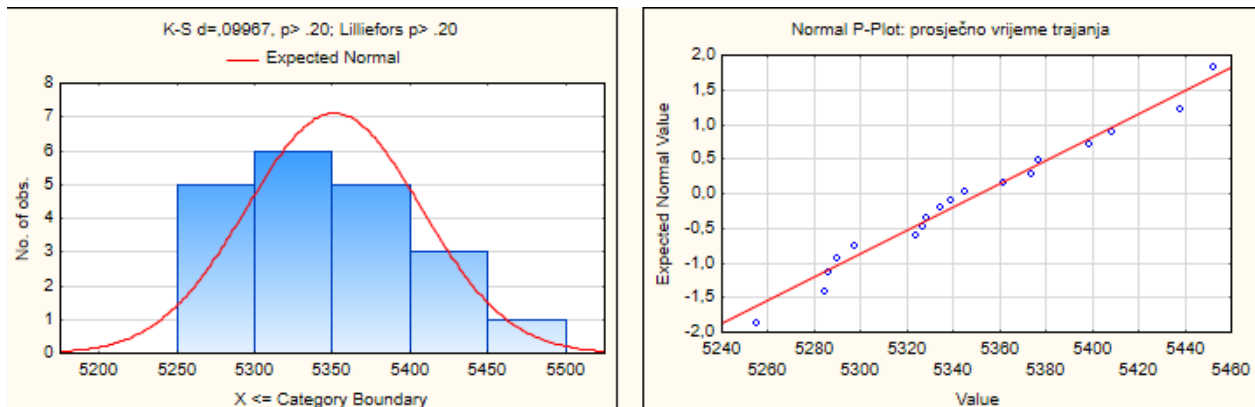
Standardna devijacija je mjera za disperziju rezultata oko aritmetičke sredine, a predstavlja odstupanje svakog podatka od aritmetičke sredine. Njen iznos se računa prema izrazu (3):[3]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$\sigma = 56,07514 \text{ s} \quad (4)$$

Prosječno odstupanje svakog mjerenja od prosječnog trajanja procesa iznosi 56,07514 sekundi.

➤ **Provjera normalnosti distribucije podataka**



**Slika 18. Provjera normalnosti distribucije podataka**

Nakon provedene provjere normalnosti distribucije podataka, zaključuje se da se mjereni podaci ponašaju po normalnoj raspodjeli [Slika 18].

➤ **Intervalna procjena očekivanja osnovnog skupa**

Korištenjem statističke analize moguće je odrediti intervalnu procjenu očekivanja osnovnog skupa, odnosno uz određenu vjerodostojnost (povjerenje) procijeniti intervale očekivanja pojave

određenih događaja osnovnog skupa. Vrsta razdiobe koja se koristi u intervalnoj procjeni ovisi o veličini uzorka i to na način da se koristi :

- Normalna razdioba ako je veličina uzorka  $n > 30$  elemenata
- Studentova t-razdioba ako je veličina uzorka  $n \leq 30$  elemenata

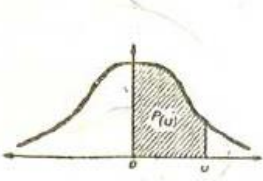
Nadalje, ukoliko je poznata standardna devijacija osnovnog skupa nije nužno korištenje Studentove t-razdiobe.[4] U promatranom slučaju veličina uzorka  $n$  iznosi 20 (provedeno je 20 mjerenja) te je poznata standardna devijacija osnovnog skupa pa se izračun intervalne procjene provodi pomoću normalne razdiobe. Osnovni skup predstavlja prosječno trajanje cijelog procesa izrade jezgri s namotom. U nastavku je prikazan postupak intervalne procjene očekivanja osnovnog skupa ( $\mu$ ) uz povjerenje od 95% ( $1 - \alpha = 0,95$ ).

Intervalna procjena očekivanja osnovnog skupa ( $\mu$ ) izračunava se prema izrazu (5):[4]

$$\bar{x} - z(\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z(1-\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

pri čemu se  $z$  određuje iz tablice normalne razdiobe za određenu razinu povjerenja.

**POVRŠINE ISPOD NORMALNE KRIVULJE**



**Tabela 3**

u	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	00000	00398	00798	01197	01595	01994	02392	02790	03188	03586
0,1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0,2	07925	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0,3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14059	14431	14803	15173
0,4	15554	15910	16276	16640	17003	17364	17725	18082	18439	18793
0,5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0,6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0,7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0,8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327
0,9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1,0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1,1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1,2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1,3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41309	41466	41621	41774
1,4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189
1,5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408
1,6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45440
1,7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1,8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062
1,9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2,0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2,1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2,2	48610	48645	48679	48713	48745	48776	48809	48840	48870	48899
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2,4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361

Slika 19. Tablica normalne razdiobe[4]

Prema navedenom evidentno je da za vjerodostojnost od 95% z iznosi 1,96 [Slika 19] pa intervalna procjena iznosi:

$$5351 - 1,96 \cdot \frac{56,07514}{\sqrt{20}} < \mu < 5351 + 1,96 \cdot \frac{56,07514}{\sqrt{20}} \quad (6)$$

$$5326,42 \text{ s} < \mu < 5357,58 \text{ s} \quad (7)$$

Prema izrazu (7) može se tvrditi da će prosječno trajanje procesa biti između 5326,42 sekunde i 5357,78 sekundi u 95% slučajeva.

➤ **Iskoristivost opreme**

Nakon obavljenih mjerenja vremena trajanja pojedinih operacija i međuoperacija u proizvodnom procesu te analize izmjerenih podataka utvrđene su aritmetičke sredine, standardne devijacije i intervalne procjene očekivanja trajanja operacija na pojedinom stroju te je izračunana trenutna prosječna iskoristivost pojedinačnih strojeva tijekom samog procesa. Uzevši u obzir odstupanja mjerenih vremena trajanja operacija od prosječnog vremena trajanja operacija na pojedinom stroju i ukupnog vremena trajanja procesa (intervalne procjene očekivanja trajanja operacija i procesa) moguće je izračunati iskoristivost stroja za najbolji i najgori slučaj što je, također, prikazano u nastavku. Provedena je analiza vremenskih iskoristivosti strojeva koji su najveća investicija, a potrebni su za odvijanje samog procesa. To su strojevi za namatanje jezgre žicom: RUFF 04.048, RUFF 45-V i RUFF 04.047. Za vremenske iskoristivosti strojeva korišteno je vrijeme koje uključuje vrijeme samih aktivnosti, uključujući vremena čekanja na obavljanje određene aktivnosti.

**RUFF 04.048.**

Aritmetička sredina predstavlja prosječno trajanje operacije na stroju, a računa se prema izrazu (8) uz napomenu da je  $N=20$  (broj mjerenja), a  $x_i$  predstavlja iznos vremena trajanja operacije na stroju u svakom od 20 mjerenja:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (8)$$

$$\bar{x} = 953 \text{ s} \quad (9)$$

Prosječno trajanje operacije na stroju iznosi 953 sekunde.

Standardna devijacija računa se prema izrazu (10):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

$$\sigma = 11,33694 \text{ s} \quad (11)$$

Prosječno odstupanje svakog vremena mjerenja od prosječnog trajanja operacije iznosi 11,33694 sekunde.

Intervalna procjena očekivanja trajanja operacije ( $\mu$ ) računa se prema izrazu (12), a u nastavku je izračunana za povjerenje od 95% i  $n=20$  (broj mjerenja) uz činjenicu da  $z$  iznosi 1,96 prema [Slika 19]:

$$\bar{x} - z(\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z(1-\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

$$953 - 1,96 \cdot \frac{11,33694}{\sqrt{20}} < \mu < 953 + 1,96 \cdot \frac{11,33694}{\sqrt{20}} \quad (13)$$

$$948,03 \text{ s} < \mu < 957,97 \text{ s} \quad (14)$$

Prema izrazu (14) može se s povjerenjem od 95% tvrditi da će operacija na stroju biti izvršena između 948,03 sekunde i 957,97 sekundi.

Trenutna prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.048. računa se prema izrazu (15):

$$\text{Prosječna iskoristivost stroja RUFF 04.048.} = \frac{\text{prosječno operativno vrijeme}}{\text{prosječno vrijeme ciklusa}} = \quad (15)$$

$$\frac{953}{5351} = 0,1781 = 17,81\%$$

Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.048. u najboljem slučaju (maksimalna iskoristivost) računa se s gornjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja operacije na stroju (maksimalno operativno vrijeme) i donjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja procesa (minimalno vrijeme ciklusa) prema izrazu (16):

$$\text{Maksimalna iskoristivost stroja RUFF 04.048.} = \quad (16)$$

$$= \frac{\text{maksimalno operativno vrijeme}}{\text{minimalno vrijeme ciklusa}} = \frac{957,97}{5326,42} = \quad (17)$$

$$= 0,1799 = 17,99\% \quad (18)$$

Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.048. u najgorem slučaju (minimalna iskoristivost) računa se s donjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja operacije na stroju (minimalno operativno vrijeme) i gornjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja procesa (maksimalno vrijeme ciklusa) prema izrazu (19):

$$\text{Minimalna iskoristivost stroja RUFF 04.048.} = \quad (19)$$

$$= \frac{\text{minimalno operativno vrijeme}}{\text{maksimalno vrijeme ciklusa}} = \frac{948,03}{5357,58} \quad (20)$$

$$= 0,1770 = 17,70\% \quad (21)$$



**RUFF 45-V**

Aritmetička sredina predstavlja prosječno trajanje operacije na stroju, a računa se prema izrazu (22) uz napomenu da je  $N=20$  (broj mjerenja), a  $x_i$  predstavlja iznos vremena trajanja operacije na stroju u svakom od 20 mjerenja:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (22)$$

$$\bar{x} = 1261 \text{ s} \quad (23)$$

Prosječno trajanje operacije na stroju iznosi 1261 sekundu.

Standardna devijacija računa se prema izrazu (24):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (24)$$

$$\sigma = 18,12529 \text{ s} \quad (25)$$

Prosječno odstupanje svakog vremena mjerenja od prosječnog trajanja operacije iznosi 18,12529 sekundi.

Intervalna procjena očekivanja trajanja operacije ( $\mu$ ) računa se prema izrazu (26), a u nastavku je izračunana za povjerenje od 95% i  $n=20$  (broj mjerenja) uz činjenicu da  $z$  iznosi 1,96 prema [Slika 19]:

$$\bar{x} - z(\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z(1-\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (26)$$

$$1261 - 1,96 \cdot \frac{18,12529}{\sqrt{20}} < \mu < 1261 + 1,96 \cdot \frac{18,12529}{\sqrt{20}} \quad (27)$$

$$1253,06 \text{ s} < \mu < 1268,94 \text{ s} \quad (28)$$

Prema izrazu (28) jasno je da će operacija na stroju biti gotova između 1253,06 sekundi i 1268,94 sekunde u 95% slučajeva.

Trenutna prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 45-V računa se prema izrazu (29):

$$\begin{aligned} \text{Prosječna iskoristivost stroja RUFF 45-V} &= \frac{\text{prosječno operativno vrijeme}}{\text{prosječno vrijeme ciklusa}} = \frac{1261}{5351} = \quad (29) \\ 0,2357 &= 23,57\% \end{aligned}$$

Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 45-V u najboljem slučaju (maksimalna iskoristivost) računa se s gornjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja operacije na stroju (maksimalno operativno vrijeme) i donjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja procesa (minimalno vrijeme ciklusa) prema izrazu (30):

$$\text{Maksimalna iskoristivost stroja RUFF 45 - V} = \quad (30)$$

$$= \frac{\text{maksimalno operativno vrijeme}}{\text{minimalno vrijeme ciklusa}} = \frac{1268,94}{5326,42} = \quad (31)$$

$$= 0,2382 = 23,82\% \quad (32)$$

Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 45-V u najgorem slučaju (minimalna iskoristivost) računa se s donjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja operacije na stroju (minimalno operativno vrijeme) i gornjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja procesa (maksimalno vrijeme ciklusa) prema izrazu (33):

$$\text{Minimalna iskoristivost stroja RUFF 45 - V} = \quad (33)$$

$$= \frac{\text{minimalno operativno vrijeme}}{\text{maksimalno vrijeme ciklusa}} = \frac{1253,06}{5357,58} \quad (34)$$

$$= 0,2339 = 23,39\% \quad (35)$$

### **RUFF 04.047.**

Aritmetička sredina predstavlja prosječno trajanje operacije na stroju, a računa se prema izrazu (36) uz napomenu da je  $N=20$  (broj mjerenja), a  $x_i$  predstavlja iznos vremena trajanja operacije na stroju u svakom od 20 mjerenja:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (36)$$

$$\bar{x} = 239 \text{ s} \quad (37)$$

Prosječno trajanje operacije na stroju iznosi 239 sekundi.

Standardna devijacija računa se prema izrazu (38):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (38)$$

$$\sigma = 8,497678 \text{ s} \quad (39)$$

Prosječno odstupanje svakog vremena mjerenja od prosječnog trajanja operacije iznosi 8,497678 sekundi.

Intervalna procjena očekivanja trajanja operacije ( $\mu$ ) računa se prema izrazu (40), a u nastavku je izračunana za povjerenje od 95% i  $n=20$  (broj mjerenja) uz činjenicu da  $z$  iznosi 1,96 prema [Slika 19]:

$$\bar{x} - z(\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z(1-\alpha/2) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (40)$$

$$239 - 1,96 \cdot \frac{8,497678}{\sqrt{20}} < \mu < 239 + 1,96 \cdot \frac{8,497678}{\sqrt{20}} \quad (41)$$

$$235,28 \text{ s} < \mu < 242,72 \text{ s} \quad (42)$$

Prema izrazu (42) može se s vjerodostojnošću od 95% tvrditi da će operacija na stroju biti izvršena između 235,28 sekundi i 242,72 sekunde.

Trenutna prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.047. računa se prema izrazu (43):

$$\text{Prosječna iskoristivost stroja RUFF 04.047} = \frac{\text{prosječno operativno vrijeme}}{\text{prosječno vrijeme ciklusa}} = \frac{239}{5351} = \quad (43)$$

$$0,0447 = 4,47\%$$

Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.047. u najboljem slučaju (maksimalna iskoristivost) računa se s gornjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja operacije na stroju (maksimalno operativno vrijeme) i donjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja procesa (minimalno vrijeme ciklusa) prema izrazu (44):

$$\text{Maksimalna iskoristivost stroja RUFF 04.047} = \quad (44)$$

$$= \frac{\text{maksimalno operativno vrijeme}}{\text{minimalno vrijeme ciklusa}} = \frac{242,72}{5326,42} = \quad (45)$$

$$= 0,0456 = 4,56\% \quad (46)$$

Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.047. u najgorem slučaju (minimalna iskoristivost) računa se s donjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja operacije na stroju (minimalno operativno vrijeme) i gornjom granicom intervalne procjene očekivanja vremena trajanja procesa (maksimalno vrijeme ciklusa) prema izrazu (47):

$$\text{Minimalna iskoristivost stroja RUFF 04.047.} = \quad (47)$$

$$= \frac{\text{minimalno operativno vrijeme}}{\text{maksimalno vrijeme ciklusa}} = \frac{235,28}{5357,58} \quad (48)$$

$$= 0,0439 = 4,39\% \quad (49)$$

Vremenske iskoristivosti strojeva od 17,81%, 23,57% i 4,47% su izrazito male što ukazuje na to da ima velikog prostora za napredak, odnosno za povećanje spomenutih iskoristivosti. Uz to, jasno je da varijacije u iskoristivosti (razlike između maksimalne i minimalne iskoristivosti) strojeva

nisu velike. U nastavku će biti dan prijedlog poboljšanja iskoristivosti i izračunane prosječne vremenske iskoristivosti strojeva nakon poboljšanja.

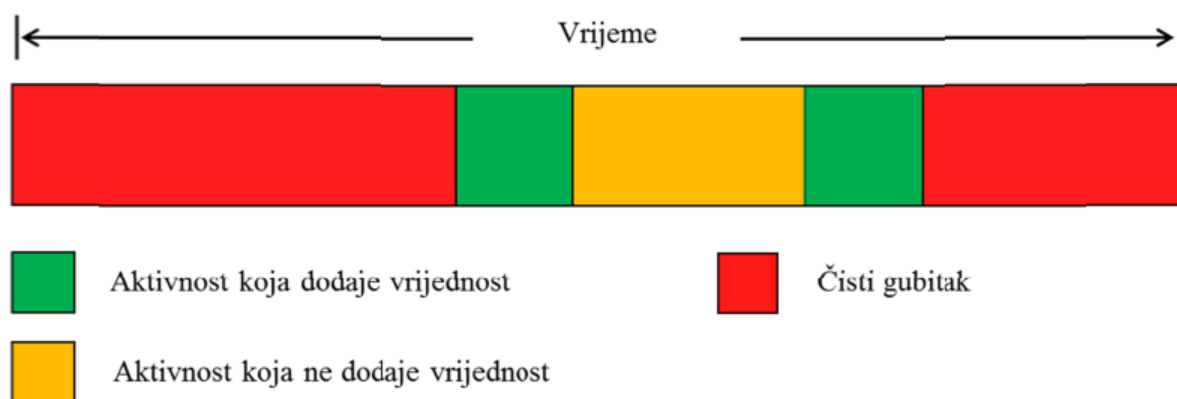
### **5.1. TRENUTNA EFIKASNOST PROCESA**

Vrijednost se opisuje i definira iz perspektive kupca, tj. kako je vidi i zahtijeva kupac. Sva vremena s pripadajućim aktivnostima u proizvodnom procesu mogu se podijeliti u 3 skupine: VAT, NVAT i WT.[5]

Aktivnosti koje dodaju vrijednost (engl. VAT – *Value-added activities-time*) predstavljaju aktivnosti koje je kupac spreman platiti. Ova vrsta aktivnosti transformira ili oblikuje materijal, informacije i ljude, a obavljena je bez greške. Te aktivnosti izravno ili neizravno dodaju vrijednost te se smatraju čistim dobitkom. Zbog navedenog cilj je njihov udio u cjelokupnom procesu maksimizirati.

Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost – neophodni gubitak (engl. NVAT – *Non-value-added activities-time*) su aktivnosti koje se ne mogu eliminirati iz procesa, no ne stvaraju vrijednost. Isto tako one su neophodne za cjelokupan proces proizvodnje ili usluge, a primjeri su: kontrola kvalitete, transport itd.

Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost – čisti gubitak (engl. WT – *Waste time*) čine aktivnosti koje troše resurse, ali ih kupac nije spreman platiti. Cilj svakog poduzeća je eliminirati ove aktivnosti iz svojeg proizvodnog procesa bez većeg utjecaja na sami proces. Primjeri ovih aktivnosti: čekanja, zalihe itd.



**Slika 20. Aktivnosti u proizvodnom procesu[6]**

[Slika 20] prikazuje sve tri skupine aktivnosti u proizvodnom procesu (aktivnosti koje dodaju vrijednost, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost-neophodni gubitak, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost-čisti gubitak) u vremenskom određenju.

U nastavku su izračunani udjeli pojedinih vremena u procesu pri čemu je za ukupno vrijeme procesa uzeto prosječno ukupno vrijeme procesa, a vremena VAT, NVAT i WT predstavljaju, također, prosječna vremena.

- Udio VAT u procesu računa se prema izrazu (50):[5]

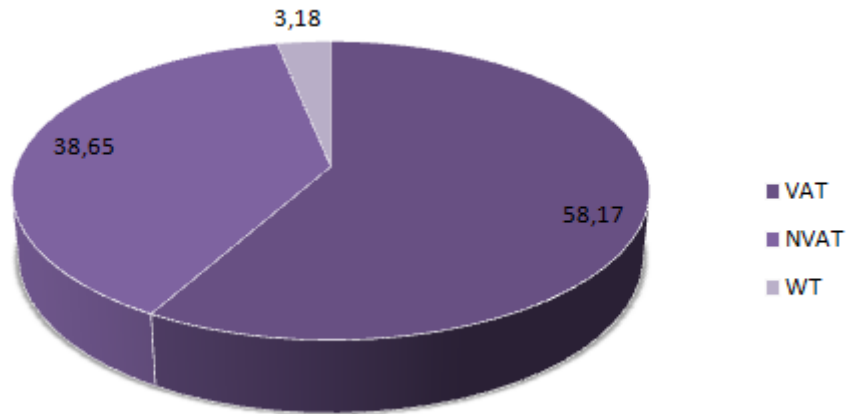
$$Udio\ VAT = \frac{VAT}{ukupno\ vrijeme\ procesa} = \frac{3113}{5351} = 0,5817 = 58,17\% \quad (50)$$

- Udio NVAT u procesu računa se prema izrazu (51):[5]

$$Udio\ NVAT = \frac{NVAT}{ukupno\ vrijeme\ procesa} = \frac{2068}{5351} = 0,3865 = 38,65\% \quad (51)$$

- Udio WT u procesu računa se prema izrazu (52):[5]

$$Udio\ WT = \frac{WT}{\text{ukupno vrijeme procesa}} = \frac{170}{5351} = 0,0318 = 3,18\% \quad (52)$$



**Slika 21. Udio vremena trenutnog stanja procesa**

Iz grafičkog prikaza vidljiv je udio vremena pojedinih tipova aktivnosti u cjelokupnom procesu[Slika 21]. Lako se može zaključiti da postoji još prostora za povećanje udjela VAT aktivnosti i smanjenje WT aktivnosti. Udio vremena aktivnosti koje su čisti gubitak moguće je smanjiti određenim aktivnostima upravljanja proizvodnjom što je prikazano u nastavku.

Efikasnost predstavlja postizanje definiranih ciljeva s minimalnom količinom resursa. [5]

Efikasnost za promatrani proces izračunana je s prosječnim vremenom aktivnosti koje dodaju vrijednost i prosječnim ukupnim vremenom procesa.

- Trenutna efikasnost procesa računa se prema izrazu (53):[5]

$$Trenutna\ efikasnost\ procesa = \frac{\text{vrijeme aktivnosti koje dodaju vrijednost}}{\text{ukupno vrijeme procesa}} \quad (53)$$

$$= \frac{3113}{5351} = 0,5817 = 58,17\%$$



## 6. PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA

Osnovni cilj svakog poduzeća je povećati iskoristivost opreme i efikasnost samog proizvodnog procesa. Shodno tome javlja se pitanje kako postići spomenuto, a rješenje je u kvalitetnom i racionalnom upravljanju proizvodnjom. Postoji nekoliko različitih principa upravljanja proizvodnjom. Svaki od njih posjeduje neke prednosti, no ujedno i svaki od njih ima određene nedostatke. U nastavku je opisan princip Vitke proizvodnja (engl. *Lean production*) čijim uvođenjem u postojeće proizvodne procese je moguće postići određena poboljšanja svakog dijela procesa, a samim time i cjelokupnog procesa.

### ➤ Vitka proizvodnja

Vitka proizvodnja je proizvodni princip koji kada je implementiran skraćuje vrijeme od narudžbe kupca do isporuke gotovog proizvoda eliminirajući sve izvore gubitaka (rasipanja) u proizvodnome procesu. [8] Vitka proizvodnja omogućuje organizaciju proizvodnih pogona i procesa tako da budu fleksibilni i učinkoviti i to:

- skraćivanjem vremena proizvodnog procesa
- izbacivanjem svih nepotrebnih aktivnosti (eliminiranjem ili smanjenjem svih oblika rasipanja)

Glavni cilj vitke proizvodnje je isporuka usluge ili proizvoda koji se potpuno podudara sa željama kupca (što kupac želi, kada kupac to želi i u kojoj količini kupac to želi) sa što manje gubitaka u proizvodnji.

U principu vitke proizvodnje postoji 8 vrsta gubitaka (rasipanja) [Slika 22].[2]



Slika 22. 8 vrsta gubitaka u Vitkoj proizvodnji[2]

### 1. PREKOMJERNA PROIZVODNJA

- stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržištu
- izvođenje operacija koje nisu neophodne
- stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva ili koja kasnije uopće neće koristiti (prekomjerna administracija)
- loše predviđanje (procjena) prodaje, tj. zahtjeva tržišta
- slanje uputa prema previše ljudi
- proizvodnja „za svaki slučaj“

### 2. TRANSPORT

- nepotrebno kretanje materijala (obradaka) između operacija ili između skladišnih površina
- korištenje starih, neučinkovitih razmještaja (rasporeda) kretanja materijala

- neučinkovit transport informacija
- neuspješna komunikacija: gubitak podataka, nekompatibilnost, nepouzdanost informacija

### 3. ČEKANJE/ZASTOJI

- vrijeme čekanja materijala između operacija
- čekanje radnika na strojevima ili na materijal (loše planiranje proizvodnje)
- čekanje na podatke, rezultate testova, informacije, odluke, potpis, itd.
- čekanje na isporuku

### 4. PREKOMJERNA OBRADA

- predimenzionirani strojevi, kriva ili nedostajuća tehnološka oprema, pripremno završno vrijeme, čišćenje između obrade
- previše procesa obrade
- predetaljna obrada
- loš dizajn (konstrukcija) proizvoda koji zahtijeva previše koraka obrade (prekompleksan proizvod)

### 5. ZALIHE

- prekomjerna proizvodnja

### 6. NEPOTREBNI POKRETI

- loš raspored strojeva – nepotrebna kretanja radnika
- ljudi se trebaju micati kako bi došli do informacija
- ručni rad kako bi se kompenzirali neki nedostaci u procesu proizvodnje

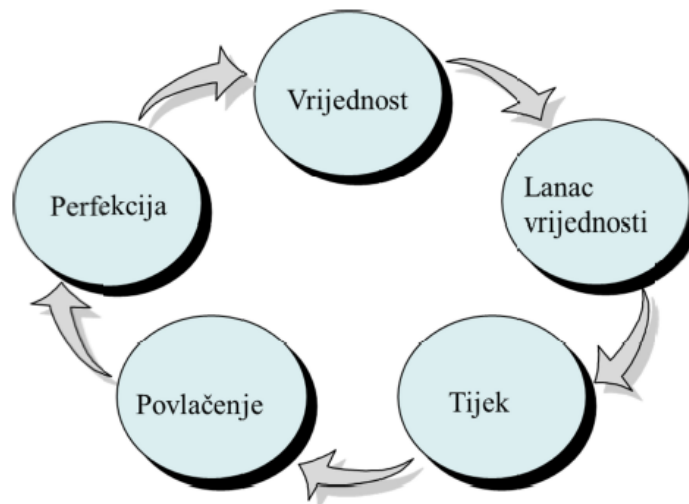
## 7. ŠKART

- prekid toka zbog grešaka, nepotrebna vremena, troškovi i prostor za analizu i otklanjanje
- nepotpune, netočne, nepravodobne informacije

## 8. NEDOVOLJNO KORIŠTENJE POTENCIJALA ZAPSLENIKA

- menadžment ne prepoznaje sposobnosti i mogućnosti radnika u punom njihovom opsegu

Princip Vitke proizvodnje temelji se na svojim 5 osnovnih principa prikazanih na [Slika 23]:



**Slika 23. 5 osnovnih principa Vitke proizvodnje[6]**

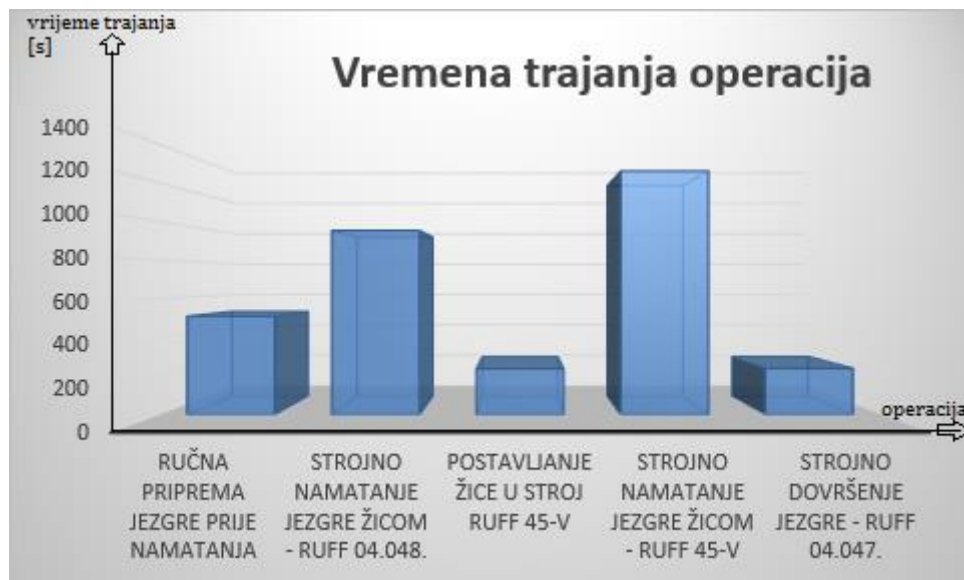
1. VRIJEDNOST – definirati vrijednost
2. LANAC VRIJEDNOSTI – identificirati lanac vrijednosti
3. TIJEK – neka vrijednost kontinuirano teče
4. POVLAČENJE – neka kupac povlači vrijednost
5. PERFEKCIJA – težiti perfekciji kroz kontinuirana poboljšanja

U nastavku je detaljnije opisan pojam Uskog grla čije otkrivanje ima veliku važnost za implementaciju principa Vitke proizvodnje, a samim time i unaprjeđenje procesa.

## USKO GRLO

Usko grlo (engl. Bottleneck) može biti pojava u kojoj dolazi do manjka repromaterijala ili ograničenosti proizvodnih kapaciteta, nedovoljnog broja radnika određenog profila, itd. Tvrtka mora biti svjesna da u proizvodnom procesu postoji operacija (pojava) koja predstavlja usko grlo i to imati u vidu. Detekcijom operacije koja predstavlja usko grlo moguće je uočiti gdje su najveći problemi u proizvodnom procesu.

Analizirajući podatke mjerenja vremena trajanja pojedinih operacija i međuoperacija proizvodnog procesa izrade jezgri s namotom uočeno je da operacija strojnog namatanja jezgre žicom na stroju RUFF 45-V predstavlja operaciju uskog grla. Prosječno trajanje spomenute operacije iznosi 1261 sekundu što je znatno više od bilo koje druge operacije ili međuoperacije u procesu [Slika 24].

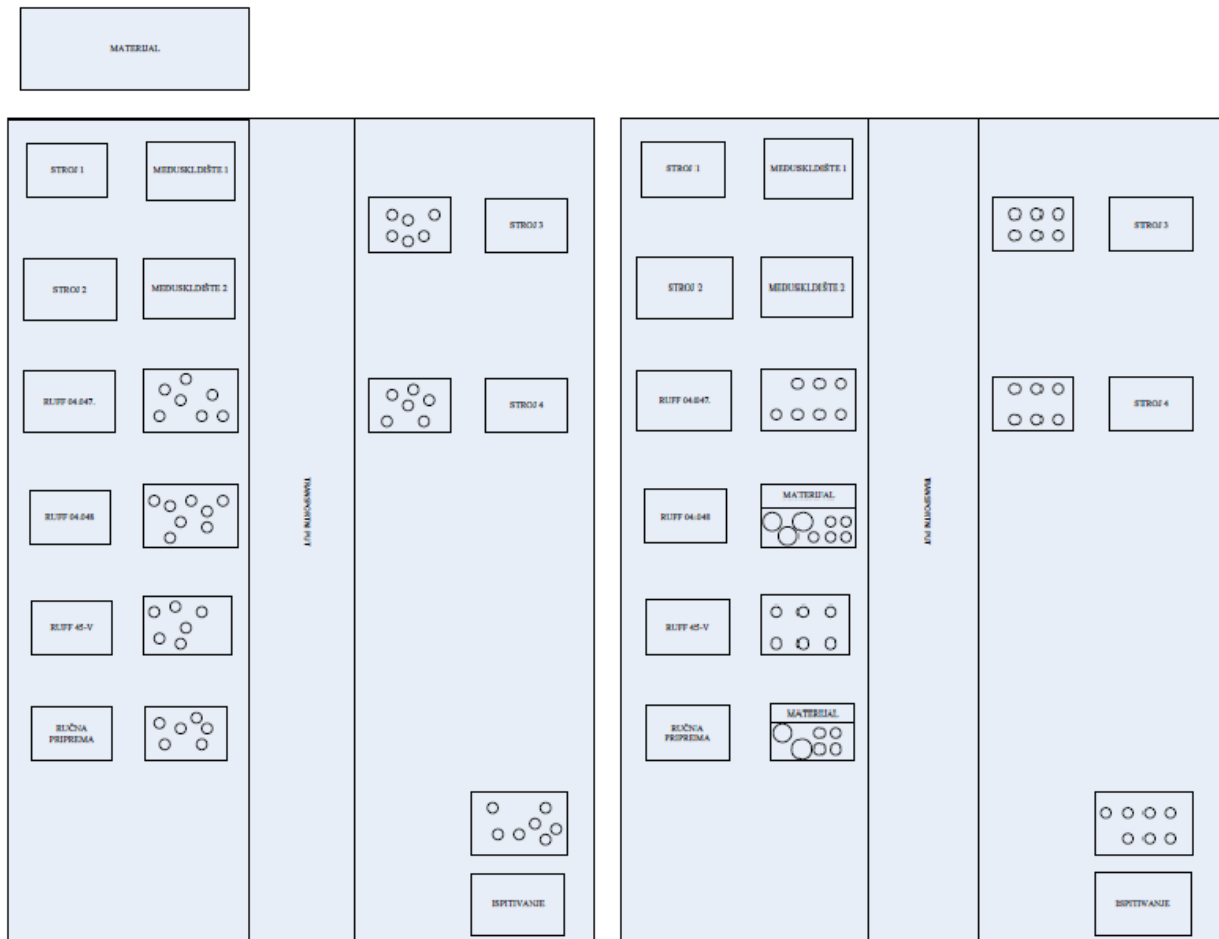


**Slika 24. Vremena trajanja duljih operacija**

Iz navedenog se zaključuje da je poboljšanje procesa moguće izvesti na operacijama koje prethode operaciji koja predstavlja usko grlo. U nastavku je opisan prijedlog poboljšanja te su kvantitativno izraženi relevantni pokazatelji unaprjeđenja. Unaprjeđenje je moguće reorganizacijom prostora.

## REORGANIZACIJA PROSTORA

Za izvedbu operacija ručne pripreme jezgre i strojnog namatanja jezgre potreban je materijal (prsteni, žice, itd.). Potreban materijal nalazi se na velikoj udaljenosti od radnih mjesta na kojima se izvode navedene operacije[Slika 25]. Također, uz sama radna mjesta postoje međuskладиšta gotovih proizvoda (proizvoda na kojima je odrađena operacija za koju je predviđeno izvođenje na radnom mjestu uz međuskладиšte). Nadalje, uzevši u obzir da je operacija strojnog namatanja jezgre žicom na stroju RUFF 45-V usko grlo, popunjavanjem međuskладиšta koje posjeduju radna mjesta ručne pripreme jezgre i strojnog namatanja jezgre na stroju RUFF 04.048., a koja prethode operaciji uskog grla, dolazi do čekanja (gubitaka vremena) na dvama navedenim strojevima. Isto tako, međuskладиšta gotovih proizvoda su iracionalno popunjena što zauzima velik prostor u pogonu.



Slika 25. Tlocrt prije i nakon reorganizacije

Reorganizacija je provedena smanjenjem broja gotovih proizvoda na međuskладиštima vezanim uz radna mjesta ručne pripreme jezgre i stroja RUFF 04.048. (ta radna mjesta prethode operaciji koja je usko grlo) te postavljanjem materijala na oslobođeni prostor međuskладиšta. Novim prostornim rasporedom međuskладиšta mogu uskladištiti dvije vrste gotovih proizvoda i materijal [Slika 25]. Također, gotovi proizvodi i materijal racionalno su sortirani u međuskладиštima [Slika 25]. Ovakvom prostornom reorganizacijom uvelike se povećava dostupnost materijala te se smanjuje vrijeme proizvodnog procesa što je prikazano u nastavku. Posljedica prostorne reorganizacije je skraćenje vremena proizvodnog procesa. Postavljanjem materijala na mjesta bliže (dostupnije) radnim mjestima smanjuju se vremena operacija odlaska po materijal. Uz to, smanjenjem broj gotovih dijelova u međuskладиštima smanjuju se vremena čekanja kod strojeva i vrijeme čekanja na ispitivanje. U analizi u nastavku uzeta je procjena skraćanja vremena odlaska po materijal u ukupnom iznosu od 100 sekundi i skraćanja vremena čekanja u ukupnom iznosu od 45 sekundi što je s obzirom na prostorni raspored nakon reorganizacije sasvim realno. Prema tome ukupno vrijeme čekanja smanjeno je sa 170 sekundi na 125 sekundi, vremena NVAT aktivnosti smanjena su sa 2068 sekundi na 1968 sekundi te ukupno vrijeme procesa sa 5351 sekunde na 5206 sekundi.

Dodatna poboljšanja moguća su kupnjom još jedne dizalice čime bi se iz procesa eliminirale operacije odlaska po dizalicu te dodatno smanjila vremena čekanja. No, s obzirom na visinu financijskih sredstava potrebnih za nabavu dodatne dizalice i njene ugradnje u pogon, tvrtka trenutno nije spremna na taj pothvat.

Još jedno dodatno poboljšanje moguće je osposobljavanjem radnika za rad na više radnih mjesta. Time bi se omogućilo da radnici na radnim mjestima koja prethode operaciji uskog grla, a koja predstavljaju čekanje (gubitak vremena) nakon što se popuni raspoloživi kapacitet međuskладиšta vezanih uz navedena radna mjesta, rade na drugim radnim strojevima i radnim mjestima. Ovime se smanjuje vrijeme čekanja radnika, odnosno čisti gubitak u proizvodnom procesu.

## 6.1. ANALIZA DOBIVENIH PODATAKA

### ➤ *Iskoristivost opreme*

Za vremensku iskoristivost strojeva korišteno je vrijeme koje uključuje vrijeme samih aktivnosti, uključujući vremena čekanja na obavljanje određene aktivnosti. Vrijednosti svih vremena predstavljaju prosječne vrijednosti korištenih vremena.

- Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.048 nakon poboljšanja računa se prema izrazu (54):

$$\text{Prosječna iskoristivost stroja RUFF 04.048} = \frac{\text{operativno vrijeme}}{\text{ukupno vrijeme procesa}} = \frac{953}{5206} = \quad (54)$$

$$0,1831 = 18,31\%$$

- Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 45-V nakon poboljšanja računa se prema izrazu (55):

$$\text{Prosječna iskoristivost stroja RUFF 45-V} = \frac{\text{operativno vrijeme}}{\text{ukupno vrijeme procesa}} = \frac{1261}{5206} = \quad (55)$$

$$0,2422 = 24,22\%$$

- Prosječna vremenska iskoristivost stroja za namatanje jezgre žicom RUFF 04.047 nakon poboljšanja računa se prema izrazu (56):

$$\text{Prosječna iskoristivost stroja RUFF 04.047} = \frac{\text{operativno vrijeme}}{\text{ukupno vrijeme procesa}} = \frac{239}{5206} = \quad (56)$$

$$0,0459 = 4,59\%$$



Vremenske iskoristivosti strojeva u iznosu od 18,31%, 24,22% i 4,59% su nešto veće nego što su bile prije provedbe unaprjeđenja (redom 17,81%, 24,22% i 4,47%). Iako povećanja iskoristivosti strojeva nisu velika, ako se uzme u obzir da je cijeli proces skraćen za svega 145 sekundi, ona dobivaju na važnosti. Sama činjenica da dolazi do povećanja potvrđuje opravdanost provedbe poboljšanja i smjer u kojem bi tvrtka trebala ići ukoliko želi još više povećati iskoristivost korištenih strojeva.

## 6.2. EFIKASNOST PROCESA NAKON UNAPRJEĐENJA

Vrijednosti vremena u nastavku predstavljaju prosječne iznose analiziranih vremena.

- Udio VAT u procesu nakon unaprjeđenja računa se prema izrazu (57):

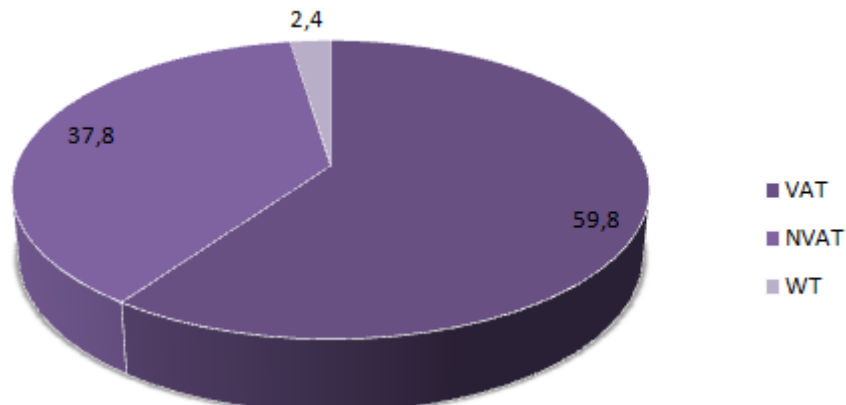
$$Udio\ VAT = \frac{VAT}{ukupno\ vrijeme\ procesa} = \frac{3113}{5206} = 0,5980 = 59,80\% \quad (57)$$

- Udio NVAT u procesu nakon unaprjeđenja računa se prema izrazu (58):

$$Udio\ NVAT = \frac{NVAT}{ukupno\ vrijeme\ procesa} = \frac{1968}{5206} = 0,3780 = 37,80\% \quad (58)$$

- Udio WT u procesu nakon unaprjeđenja računa se prema izrazu (59):

$$Udio\ WT = \frac{WT}{ukupno\ vrijeme\ procesa} = \frac{125}{5206} = 0,0240 = 2,40\% \quad (59)$$



**Slika 26. Udio vremena nakon unaprjeđenja procesa**

[Slika 26] grafički prikazuje udio vremena pojedinih skupina aktivnosti u procesu nakon provedbe poboljšanja. Također, jasno pokazuje snagu primjene konceptata Vitke proizvodnje – smanjenjem svih vrsta gubitaka (udio vremena čekanja smanjen s 3,18% na 2,4% udio vremena aktivnosti koje su neophodni gubitak smanjen 38,65% na 37,8%) dolazi do povećanja vremena aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu (s 58,17% na 59,80%).

- Efikasnost procesa nakon unaprjeđenja računa se prema izrazu (60):

$$\begin{aligned}
 \text{Efikasnost procesa} &= \frac{\text{vrijeme aktivnosti koje dodaju vrijednost}}{\text{ukupno vrijeme procesa}} && (60) \\
 &= \frac{3113}{5206} = 0,5980 = 59,80\%
 \end{aligned}$$

Nakon unaprjeđenja primjenom samo nekih konceptata Vitke proizvodnje došlo je do porasta efikasnosti procesa (s 58,17% na 59,80%). Ako se uzme u obzir kompleksnost proizvodnje kompletnog mjernog transformatora tipa AGU-123 (broj operacija u potpunom procesu proizvodnje) povećanje efikasnosti u početnom dijelu procesa proizvodnje predstavlja dobar početak poboljšanja cijelog procesa.

Opisani postupak potrebno je primijeniti i u ostalim faza proizvodnje kako bi se postiglo povećanje efikasnosti ukupnog procesa izrade mjernog transformatora.

## **7. ZAKLJUČAK**

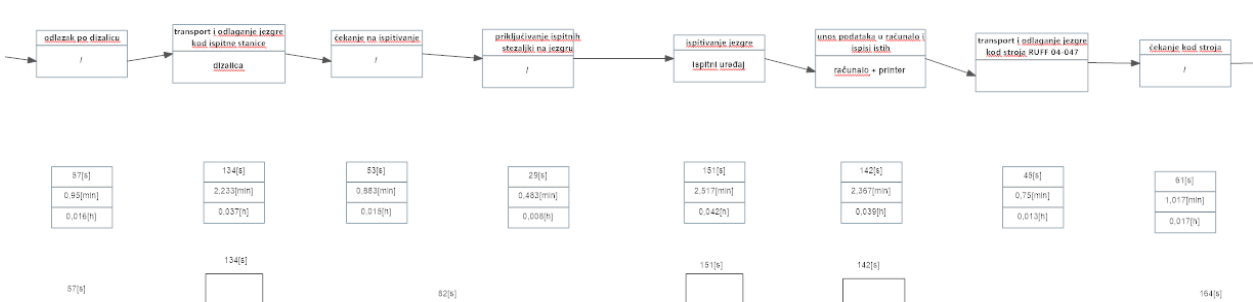
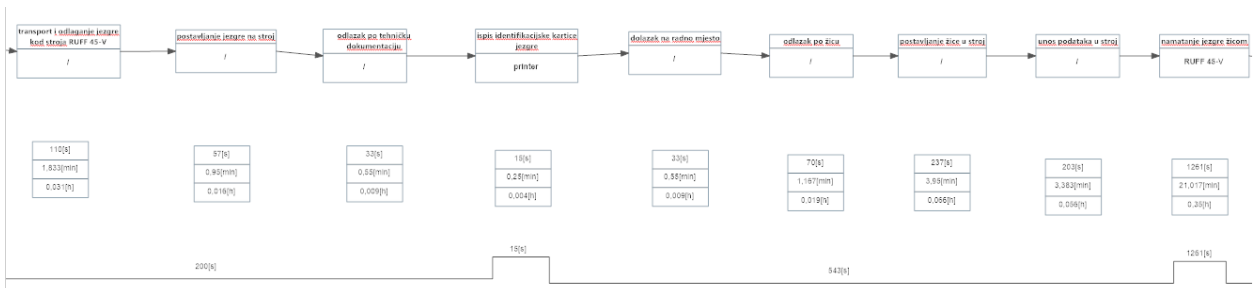
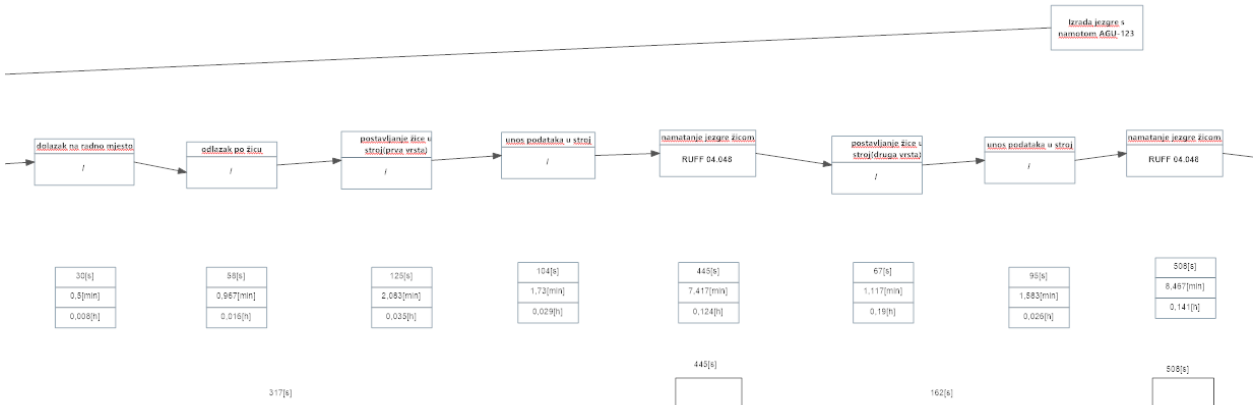
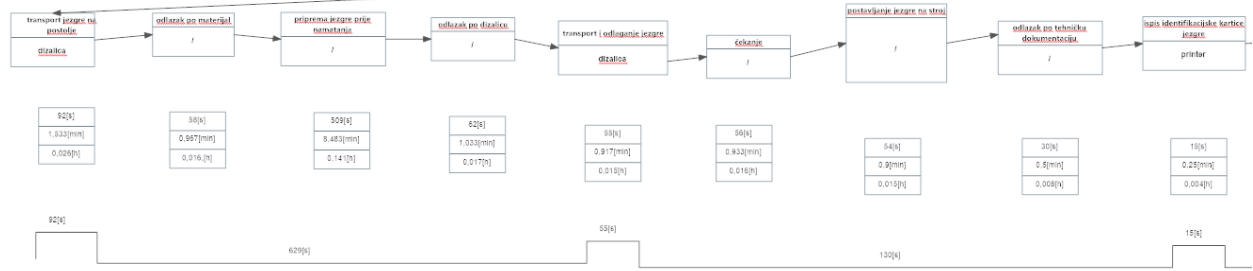
Nakon provedenih početnih analiza tvrtke „Končar – mjerni transformatori d.d.“ predložena su poboljšanja u obliku unaprjeđenja procesa, reorganizacije prostornog rasporeda unutar samo proizvodnog pogona te skraćanja vremena trajanja samo proizvodnog procesa. Sve navedeno provedeno je s ciljem povećanja efikasnosti samog procesa i iskoristivosti opreme. U završnom radu primarni predmet analize bio je proces izrade jezgri s namotom za mjerni transformator tipa AGU-123. Boljom organizacijom radnog prostora moguće je skraćanje vremena trajanja samog procesa sa 5351 sekundi na 5206 sekundi što u konačnici dovodi do mogućnosti proizvodnje većeg broja proizvoda u istome vremenskom razdoblju. Moguće poboljšanje je reorganizacijom radnog prostora nakon što se utvrdi koja operacija predstavlja usko grlo. Smanjenjem broja gotovih proizvoda u međuskloštima vezanim uz radna mjesta koja prethode operaciji koja je usko grlo te postavljanjem materijala na oslobođena mjesta koja su dostupnija radnim mjestima na kojima se koriste postiže se skraćanje vremena čekanja, a samim time i skraćanje ukupno vremena trajanja proizvodnog procesa za 145 sekundi. Dodatno poboljšanje moguće je nabavom dodatne dizalice čijom ugradnjom u proizvodni pogon bi se dodatno smanjila vremena odlaska po dizalicu i transporta te u konačnici samog procesa. Također, dodatno poboljšanje moguće je osposobljavanjem radnika za rad na više strojeva čime bi se dodatno smanjilo vrijeme proizvodnog procesa. Za predložene izmjene potrebno je procijeniti njihovu ekonomsku isplativost.

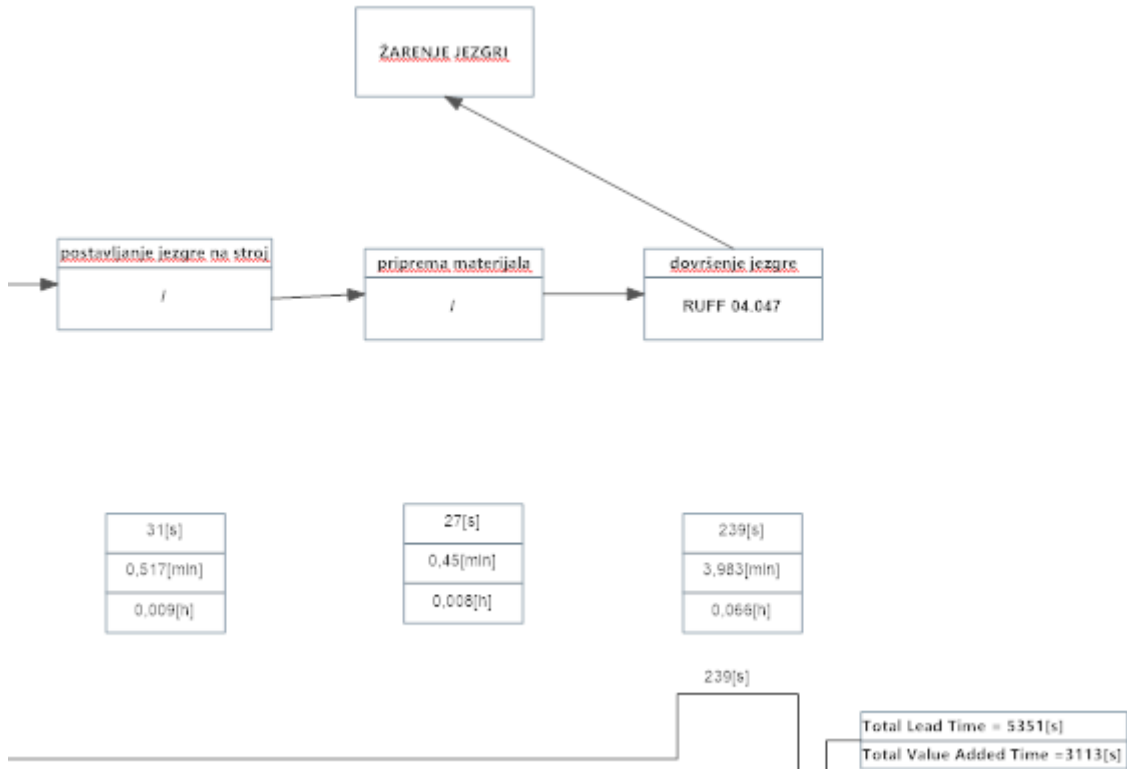
**LITERATURA**

- [1] <http://www.koncar-mjt.hr/Home.aspx> (pristupljeno, veljača 2019.)
- [2] Hegedić, M. 2019. *Proizvodni menadžment*, FSB prezentacija(e-učenje) <https://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=1056> (pristupljeno, veljača 2019.)
- [3] Cajner, H. 2017. *Industrijsko inženjerstvo*, FSB prezentacija(e-učenje) <https://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=469> (pristupljeno, veljača 2019.)
- [4] Cajner, H. 2018. *Inženjerska statistika*, FSB prezentacija(e-učenje) <https://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=759> (pristupljeno, veljača 2019.)
- [5] Štefanić, N. 2017. *Osnove menadžmenta*, FSB prezentacija(e-učenje) <https://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=466> (pristupljeno, veljača 2019.)
- [6] Tošanović, N. 2018. *Unaprjeđenje proizvodnih procesa primjenom principa povlačenja*. Doktorski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- [7] Gorički, G. 2017. *Modeli upravljanja zalihama*. Završni rad. Odjel za tehničku i gospodarsku logistiku Sveučilišta Sjever. Varaždin.
- [8] Štefanić, N. 2018. *Upravljanje znanjem i promjenama*, FSB prezentacija(e-učenje) <https://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=752> (pristupljeno, veljača 2019.)

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Mapa toka vrijednosti trenutnog stanja
- III. Tablica prosječnih, minimalnih i maksimalnih vremena trajanja operacija/međuoperacija
- IV. Tablica tipova vremena trajanja svake operacije/međuoperacije





OPERACIJA/MEĐUOPERACIJA	VREMENA TRAJANJA OPERACIJA/MEĐUOPERACIJA																				PROSJEČNO VRIJEME	NAJKAČE VRIJEME	NAJDUŽE VRIJEME	
	101	81	83	82	85	87	89	80	88	82	89	80	81	84	89	82	86	85	80	82				
transport jezgre na postroje diskom	37	39	70	49	52	57	56	58	69	30	72	48	65	53	59	55	56	69	48	58	50	50	101	
odlazak po materijal	350	324	489	473	324	300	330	485	494	512	523	336	517	486	489	523	501	490	513	509	509	509	350	
odlazak po dizalju	63	70	26	62	59	71	45	53	67	53	48	72	68	55	53	73	64	68	73	63	62	62	73	
transport diskom i odlaganje jezgre kod stroja - RUFF 04.04B	60	49	64	45	56	61	49	68	47	61	55	59	51	55	48	62	47	53	51	58	55	55	68	
žetanje kod stroja - RUFF 04.04B	45	48	66	60	59	53	57	61	46	50	64	63	48	60	58	46	55	63	52	64	56	56	66	
postavljanje jezgre na stroj - RUFF 04.04B	53	45	57	47	67	49	51	67	53	64	44	48	61	63	55	70	54	61	45	45	54	54	67	
odlazak po tehničku dokumentaciju jezgre	27	25	28	22	33	30	32	35	24	27	34	36	30	28	27	31	33	28	30	30	29	29	34	
primanje identifikacije kartice jezgre	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	
odlazak na radno mjesto	30	29	27	33	28	32	30	24	28	31	32	28	40	33	29	30	31	33	29	33	30	30	33	
odlazak po šou	53	47	66	49	72	63	59	63	57	49	70	47	60	50	62	53	57	60	64	55	58	57	72	
postavljanje šou u strojno vrstje - RUFF 04.04B	124	130	123	128	120	126	136	127	123	126	129	127	132	120	122	129	125	128	131	120	123	123	136	
unos podataka u stroj - RUFF 04.04B	108	106	104	107	112	110	101	100	96	105	98	108	103	100	107	106	99	103	107	104	106	106	112	
strojno namatanje jezgre Boom - RUFF 04.04B	438	442	456	453	437	444	442	454	440	438	448	445	452	439	437	457	448	441	443	445	445	445	457	
postavljanje šou u strojno vrstje - Ruff 04.04B	63	75	26	67	70	79	71	69	65	63	57	76	72	58	65	62	74	64	71	65	67	67	79	
unos podataka u stroj - Ruff 04.04B	87	84	97	104	93	108	96	89	100	90	86	93	103	88	107	99	87	91	103	95	95	95	108	
strojno namatanje jezgre Boom - Ruff 04.04B	510	515	499	519	517	498	496	520	519	495	503	496	511	516	499	500	504	509	512	522	508	508	522	
transport i odlaganje jezgre kod stroja - Ruff 45-V	104	99	103	111	117	123	106	116	112	98	99	109	102	103	119	124	103	107	122	117	110	109	123	
postavljanje jezgre na stroj - Ruff 45-V	50	61	59	55	65	59	53	64	57	50	52	56	62	55	58	63	51	57	54	62	57	57	65	
odlazak po tehničku dokumentaciju jezgre	27	24	29	35	31	36	33	28	33	39	34	29	39	35	28	32	37	31	33	37	33	33	37	
primanje identifikacije kartice jezgre	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	
odlazak na radno mjesto	32	34	28	27	35	36	33	30	39	36	32	31	38	34	27	36	28	35	34	38	33	33	38	
odlazak po šou	68	73	65	81	58	59	63	74	69	79	85	67	72	69	60	73	81	66	63	75	70	70	85	
postavljanje šou u stroj - Ruff 45-V	246	238	225	231	239	238	230	249	238	239	251	237	248	239	244	231	228	230	226	237	235	235	251	
unos podataka u stroj - Ruff 45-V	204	210	199	215	200	193	202	215	198	206	197	209	205	196	195	206	207	196	199	203	203	203	219	
strojno namatanje jezgre Boom - Ruff 45-V	1248	1267	1250	1261	1270	1270	1259	1289	1261	1285	1237	1246	1293	1259	1231	1277	1283	1248	1250	1261	1261	1261	1291	
odlazak po dizalju	52	55	53	57	66	56	59	68	53	51	50	64	60	58	61	57	53	56	59	52	57	57	68	
transport i odlaganje jezgre kod ispitne stanice	127	141	135	134	142	130	133	132	136	142	129	137	134	129	144	140	136	127	141	132	134	134	144	
žetanje na ispitivanje	40	48	60	62	59	65	42	47	51	64	48	62	48	52	59	55	44	50	56	52	51	51	65	
priključivanje ispitnih steznika na jezgu	29	27	30	26	28	26	34	30	28	33	25	34	28	31	26	29	31	33	26	27	29	29	34	
ispitivanje jezgre	147	149	154	138	151	161	145	142	140	149	148	163	155	142	148	151	149	124	156	158	151	147	163	
unos podataka u računski listić	142	139	147	137	144	142	137	132	133	140	139	153	156	144	139	146	147	140	149	137	142	142	153	
transport i odlaganje jezgre kod stroja - Ruff 04.047	41	38	45	53	44	40	36	31	39	37	37	46	32	48	46	50	39	42	39	37	42	42	53	
žetanje kod stroja - Ruff 04.047	51	59	63	70	73	74	35	64	69	71	66	44	46	50	42	58	66	69	73	57	61	61	74	
postavljanje jezgre na stroj - Ruff 04.047	27	31	36	31	29	35	30	26	25	29	28	40	31	26	35	28	39	26	37	30	31	31	40	
priprema materijala	25	28	25	23	33	27	21	29	32	30	30	26	22	28	31	28	32	29	29	20	27	27	33	
strojno dovršenje jezgre - Ruff 04.047	228	236	237	239	248	251	248	224	230	239	242	252	226	234	249	251	237	233	240	238	239	239	252	
																					SUMA	3191	4980	5783

OPERACIJA/MEDUOPERACIJA	PROSJEČNO VRIJEME[s]	NAJKRAĆE VRIJEME[s]	TIP VREMENA
transport jezgre na postojeće dizalicom	92	80	NVAT
odlazak po materijal	58	48	NVAT
ručna priprema jezgre prije namatanja	509	473	VAT
odlazak po dizalicu	62	45	NVAT
transport dizalicom i odlaganje jezgre kod stroja - RUFF 04.048.	55	45	NVAT
čekanje kod stroja - RUFF 04.048.	56	45	WT
postavljanje jezgre na stroj - RUFF 04.048.	54	44	NVAT
odlazak po tehničku dokumentaciju jezgre	30	24	NVAT
ispis identifikacijske kartice jezgre	15	14	NVAT
dolazak na radno mjesto	30	24	NVAT
odlazak po žicu	58	47	NVAT
postavljanje žice u stroj(prva vrsta) - RUFF 04.048.	125	117	NVAT
unos podataka u stroj - RUFF 04.048.	104	96	NVAT
strojno namatanje jezgre žicom - RUFF 04.048.	445	437	VAT
postavljanje žice u stroj(druga vrsta) - RUFF 04.048.	67	57	NVAT
unos podataka u stroj - RUFF 04.048.	95	84	NVAT
strojno namatanje jezgre žicom - RUFF 04.048.	508	495	VAT
transport i odlaganje jezgre kod stroja - RUFF 45-V	110	98	NVAT
postavljanje jezgre na stroj - RUFF 45-V	57	50	NVAT
odlazak po tehničku dokumentaciju jezgre	33	27	NVAT
ispis identifikacijske kartice jezgre	15	14	NVAT
dolazak na radno mjesto	33	27	NVAT
odlazak po žicu	70	58	NVAT
postavljanje žice u stroj - RUFF 45-V	237	225	NVAT
unos podataka u stroj - RUFF 45-V	203	195	NVAT
strojno namatanje jezgre žicom - RUFF 45-V	1261	1231	VAT
odlazak po dizalicu	57	50	NVAT
transport i odlaganje jezgre kod ispitne stanice	134	123	NVAT
čekanje na ispitivanje	53	40	WT
priključivanje ispitnih stezaljki na jezgru	29	25	NVAT
ispitivanje jezgre	151	140	VAT
unos podataka u računalo i ispis istih	142	135	NVAT
transport i odlaganje jezgre kod stroja - RUFF 04.047.	45	36	NVAT
čekanje kod stroja - RUFF 04.047.	61	42	WT
postavljanje jezgre na stroj - RUFF 04.047.	31	25	NVAT
priprema materijala	27	20	NVAT
strojno dovršenje jezgre - RUFF 04.047.	239	224	VAT

**NAPOMENA:**

- za izradu mape toka vrijednosti korišten je program „*SmartDraw 2018*“
- za statističku analizu podataka korišten je programski alat „*Statistica 10*“