

# Optimizacija manipulacije i skladištenja ispitanih mjernih transformatora

---

Hering, Džuliano

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:031117>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Džuliano Hering

Zagreb, 2023. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student: Džuliano Hering

Zagreb, 2023. godina



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Džuliano Hering** JMBAG: 0035217826

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Optimizacija manipulacije i skladištenja ispitanih mjernih transformatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Optimization of manipulation and storage of tested instrument transformers**

Opis zadatka:

U poduzeću za proizvodnju mjernih transformatora isti nakon proizvodnje prolaze fazu ispitivanja, a nakon toga ih je potrebno skladištiti. Način manipuliranja i skladištenja većeg broja transformatora utječe na potrebne skladišne kapacitete, vremena i troškove rukovanja transformatorima kao i rizike oštećenja transformatora prilikom spomenutih logističkih zadataka.

U radu je potrebno:

- Prikazati odabrano poduzeće za proizvodnju mjernih transformatora, s naglaskom na pregled proizvodnog programa.
- Prikazati u osnovama cijeli proces proizvodnje transformatora.
- Provesti detaljnu analizu svih faza nakon ispitivanja transformatora, uključujući analizu količina transformatora koji izlaze iz ispitne stanice, zahtjeve manipuliranja te potrebne smještajne kapacitete.
- Temeljem rezultata analize predložiti rješenja optimizacije manipulacije i skladištenja mjernih transformatora nakon faze ispitivanja.

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

Zadatak zadan:

4. svibnja 2023.

Datum predaje rada:

6. srpnja 2023.

Predviđeni datumi obrane:

17. – 21. srpnja 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

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

Zahvaljujem mentoru, profesoru Goranu Đukiću na pruženoj pomoći i podršci tokom izrade diplomskog rada. Također zahvaljujem kompaniji Končar – mjerni transformatori d.d. na ukazanom povjerenju te Ivanu Janjišu na pomoći prilikom izrade ovog rada.

Dodatno bih zahvalio svojoj obitelji koja mi je bila velika podrška u svemu, hvala im što su imali razumijevanja i strpljenja tokom svih ovih godina.

Također, zahvaljujem i svim svojim prijateljima na divnim trenucima provedenim tokom studiranja ali hvala vam na onim još ljepšim trenucima izvan studija.

Džuliano Hering

## SADRŽAJ

POPIS TABLICA.....	2
POPIS SLIKA.....	3
SAŽETAK.....	4
SUMMARY.....	5
1. UVOD .....	6
1.1 Opis problema i motivacija za istraživanje .....	6
1.2 Ciljevi i svrha rada .....	7
1.3 Metodologija istraživanja .....	8
2. KONČAR – MJERNI TRANSFORMATORI d.d. ....	9
2.1. Osnovne informacije o poduzeću .....	10
2.2. Poslovanje kompanije i finansijski pokazatelji.....	17
2.3. Proizvodni program.....	22
3. PRIKAZ I ANALIZA PROCESA .....	28
3.1 Prikaz proizvodnog procesa .....	30
3.2 Analiza proizvodnog procesa .....	41
3.3 Prikaz i analiza procesa skladištenja .....	46
3.4 Identifikacija problema procesa manipulacije i skladištenja.....	52
4. OPTIMIZACIJA PROCESA UNUTARNJEG MANIPULIRANJA .....	66
4.1 Optimizacija skladištenja – prijedlog rješenja .....	66
5. ZAKLJUČAK .....	77

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Težinski faktori i ocjene [7] .....	13
Tablica 2. Prikaz trenutne likvidnosti za kompaniju KONČAR - Mjerni transformatori d.d..	21
Tablica 3. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 1 .....	55
Tablica 4. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 1 .....	56
Tablica 5. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 2 .....	58
Tablica 6. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 2 .....	58
Tablica 7. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 3 .....	60
Tablica 8. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 3 .....	60
Tablica 9. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 4 .....	62
Tablica 10. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 4 .....	62
Tablica 11. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 5 .....	63
Tablica 12. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 5 .....	63

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Organizacijska struktura kompanije Končar – Elektroindustrija d.d [3] .....	9
Slika 2.2 Vanjska prostorija tvrtke sa sjeverne strane [6] .....	10
Slika 2.3 Mikrolokacija kompanije [9] .....	13
Slika 2.4 Makrolokacija kompanije [9].....	14
Slika 2.5 Organizacijska struktura cijelog poduzeća [6].....	15
Slika 2.6 Organizacijska struktura tehničkog ureda [6] .....	16
Slika 2.7 Financijski izvještaj za 2021. godinu [11] .....	18
Slika 2.8 Srednjenaponski transformator za vanjsku montažu [18].....	24
Slika 2.9 Visokonaponski mjerni transformator [19].....	25
Slika 2.10 Strujni transformator – AGU [19].....	26
Slika 2.11 VCU Transformator [18] .....	27
Slika 3.1 Ciklus proizvodnje [21] .....	28
Slika 3.2 Shema izrade uljnih strujnih transformatora tipa AGU .....	30
Slika 3.3 Namatanje sekundarnih namota .....	31
Slika 3.4 Dijelovi AGU transformatora [6].....	32
Slika 3.5 Toroidalna jezgra spremna za proces zavarivanja .....	33
Slika 3.6 Aparat za zavarivanje (MIG/MAG ili TIG).....	34
Slika 3.7 Proces bandažiranja.....	35
Slika 3.8 Proces sušenja transformatora.....	36
Slika 3.9 Peć za sušenje transformatora .....	37
Slika 3.10 Mjerni transformator u procesu pakiranja.....	40
Slika 3.11 Proizvodnja u prvom kvartalu 2023. godine.....	42
Slika 3.12 Naponske razine mjernih transformatora koji se proizvode .....	43
Slika 3.13 Skladišni prostor 1 .....	47
Slika 3.14 Skladišni prostor 2 .....	48
Slika 3.15 Skladišni prostor 3 .....	49
Slika 3.16 Vanjski skladišni prostor 1 .....	50
Slika 3.17 Vanjski skladišni prostor 2.....	51
Slika 3.18 Najčešće proizvedeni mjerni transformatori u kompaniji.....	53
Slika 3.19 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 1 .....	54
Slika 3.20 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 2.....	56
Slika 3.21 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 3.....	58
Slika 3.22 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 4.....	60
Slika 3.23 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 5.....	62
Slika 3.24 Dostupna skladišna površina u ovisnosti o vremenu .....	63
Slika 4.1 Little's Law - primjeri uporabe [24].....	68
Slika 4.2 Količina transformatora na čekanju povezana s brojem dana .....	70
Slika 4.3 Prikaz dimenzija mjernih transformatora.....	71
Slika 4.4 Prikaz površine transformatora koji zauzimaju u unutarnjim prostorima.....	72
Slika 4.5 Prikaz dostupne površine u unutarnjim prostorima nakon svakog radnog dana.....	74
Slika 4.6 Prikaz dostupne površine u unutarnjim prostorima - drugi uzorak.....	75



## SAŽETAK

Diplomski rad se bavi detaljnom analizom i optimizacijom procesa proizvodnje i manipulacije mjernih transformatora u kompaniji Končar - mjerni transformatori d.d. U radu je pružen detaljan uvid u poslovanje poduzeća, s naglaskom na njihov proizvodni program i proizvodnju mjernih transformatora te proces unutarnjeg skladištenja.

U prvom dijelu rada, izvršena je detaljna prezentacija poduzeća, uz fokus na proizvodni program. Prikazan je cijeli spektar proizvodnje mjernih transformatora, uključujući sve ključne elemente u proizvodnji, od poluproizvoda i samih dijelova do gotovih mjernih transformatora.

Drugi dio rada koncentrirao se na cijeli proces proizvodnje transformatora. Ovdje su detaljno prikazane sve faze proizvodnje, s naglaskom na specifičnosti koje su inherentne proizvodnji mjernih transformatora. Cilj ovog dijela je razumjeti sve faze koje dolaze s proizvodnjom ovog mjernih transformatora.

Nakon proizvodnje naglasak je usmjeren na provođenje detaljne analize svih faza nakon uspješnog ispitivanja transformatora. Analizirane su količine transformatora koji izlaze iz ispitne stanice, zahtjevi za manipulaciju i potrebne smještajne kapacitete. Ova analiza pružila je vrijedne informacije o postupcima koje poduzeće trenutno koristi i gdje postoje mogućnosti za poboljšanja.

Na kraju, na temelju svih prikupljenih podataka i analize, predložena su rješenja za optimizaciju manipulacije i skladištenja mjernih transformatora nakon faze ispitivanja. Ova rješenja usmjerena su na maksimiziranje efikasnosti, smanjenje troškova i poboljšanje cjelokupnog procesa skladištenja što u konačnici povećava i efikasnost cijelog proizvodnog procesa.

## **SUMMARY**

The thesis focuses on a detailed analysis and optimization of the production process and manipulation of measuring transformers at Končar - Instrument Transformers Inc. The paper provides a detailed insight into the company's operations, focusing on their production program and the production of measuring transformers, as well as the internal storage process.

In the first part of the paper, a detailed presentation of the company is carried out, with a focus on the production program. The entire spectrum of the production of measuring transformers is presented, including all key elements in production, from semi-products and parts themselves to finished measuring transformers.

The second part of the paper focuses on the entire process of transformer production. Here, all stages of production are presented in detail, with emphasis on specifics inherent in the production of measuring transformers. The aim of this part is to understand all stages that come with the production of these measuring transformers.

After production, the emphasis is directed towards conducting a detailed analysis of all stages after the successful testing of the transformer. The quantities of transformers leaving the testing station, the requirements for manipulation, and the necessary storage capacities are analyzed. This analysis provided valuable information about the procedures that the company currently uses and where there are opportunities for improvement.

Finally, based on all collected data and analysis, solutions for the optimization of manipulation and storage of measuring transformers after the testing phase are proposed. These solutions aim to maximize efficiency, reduce costs, and improve the overall storage process, which ultimately increases the efficiency of the entire production process as well.

## 1. UVOD

### 1.1 Opis problema i motivacija za istraživanje

U svijetu proizvodnje transformatora, gdje su preciznost i ispravnost od ključne važnosti, postupci nakon ispitivanja proizvoda često postavljaju značajne operativne izazove. Jedan od najvažnijih procesa u ovom kontekstu je pravilna manipulacija i skladištenje transformatora nakon što su prošli kroz fazu ispitivanja.

Trenutno se suočavamo s izazovima poput povećanja potrebnog skladišnog prostora te visokih troškova rukovanja transformatorima. Ovi problemi utječu ne samo na efikasnost operacija, već i na ukupnu profitabilnost poduzeća.

Motivacija za ovaj diplomski rad leži u želji da se ovi problemi istraže i pronađu rješenja koja će dovesti do optimizacije ovog ključnog segmenta našeg poslovanja. Cilj je izraditi detaljnu analizu trenutnih procesa, identificirati područja koja zahtijevaju poboljšanje i predložiti konkretne korake za optimizaciju procesa manipulacije i skladištenja mjernih transformatora nakon faze ispitivanja. [1]

S obzirom na rastuću važnost obnovljive energije i povećanje potražnje za kvalitetnim transformatorima, optimizacija ovih procesa nije samo korisna za naše poduzeće, već je i ključna za doprinos širem gospodarskom i održivom razvoju.

Suvremena industrija proizvodnje neprestano traži načine za optimizaciju procesa i poboljšanje učinkovitosti kako bi ostala konkurentna na globalnom tržištu. Jedan kritičan aspekt proizvodnog procesa koji često ostaje nedovoljno istražen je skladištenje i manipulacija robom nakon proizvodnje. Učinkovito skladištenje i uspješna manipulacija robom ključni su za osiguravanje da proizvodi budu dostavljeni kupcima pravovremeno, bez oštećenja i s minimalnim troškovima. [2]

## 1.2 Ciljevi i svrha rada

Ovaj diplomski rad ima za cilj proučiti i analizirati trenutne postupke manipulacije i skladištenja mjernih transformatora nakon faze ispitivanja u odabranom poduzeću. Izazovi s kojima se poduzeće suočava u ovoj fazi su mnogostruki, uključujući potrebu za većim skladišnim prostorom, rukovanje osjetljivim proizvodima i potencijalna oštećenja koja mogu rezultirati iz tih postupaka. Cilj je identificirati ove izazove, razumjeti njihove uzroke i predložiti moguća rješenja za njihovo rješavanje.

Svrha ovog rada je trostruka:

1. Detaljno razumijevanje procesa: Rad će početi s detaljnim razumijevanjem procesa proizvodnje te općeniti prikaz kompanije. Zatim će se krenuti na ispitivanja, manipulacije i skladištenja mjernih transformatora u poduzeću. Ovo će uključivati analizu količina transformatora koji izlaze iz ispitne stanice, zahtjeve manipuliranja i potrebne smještajne kapacitete.
2. Identifikacija problema: Nakon što se postigne temeljito razumijevanje procesa, cilj je identificirati ključne probleme i izazove u postupcima manipulacije i skladištenja. Ovo će omogućiti razumijevanje točnih mjesta na kojima se javljaju problemi i kako oni utječu na efikasnost i profitabilnost operacija.
3. Predlaganje rješenja: Na temelju identificiranih problema, cilj je predložiti inovativna i efikasna rješenja koja će optimizirati postupke manipulacije i skladištenja. Ova rješenja trebala bi se temeljiti na najboljim praksama u industriji i relevantnoj akademskoj literaturi, uzimajući u obzir specifičnosti i ograničenja poduzeća.

Krajnji cilj ovog rada je pružiti poduzeću konkretne, praktične smjernice koje će mu omogućiti optimizaciju svojih procesa, smanjenje troškova, poboljšanje učinkovitosti i, konačno, povećanje zadovoljstva svojih klijenata.

### 1.3 Metodologija istraživanja

U svrhu ovog istraživanja primijenit ćemo kombinirani pristup koji uključuje kvantitativne i kvalitativne metode. Ova metodologija omogućava sveobuhvatno razumijevanje problema te omogućuje detaljnu analizu procesa manipulacije i skladištenja mjernih transformatora.

Kroz kvantitativnu analizu prikupit ćemo numeričke podatke o proizvodnji, ispitivanju i skladištenju transformatora. Ovi podaci uključivat će informacije o količinama transformatora koje izlaze iz ispitne stanice, zahtjevima za manipulaciju te potrebnim smještajnim kapacitetima. Cilj je kvantificirati trenutne izazove i identificirati područja koja zahtijevaju poboljšanje. [2]

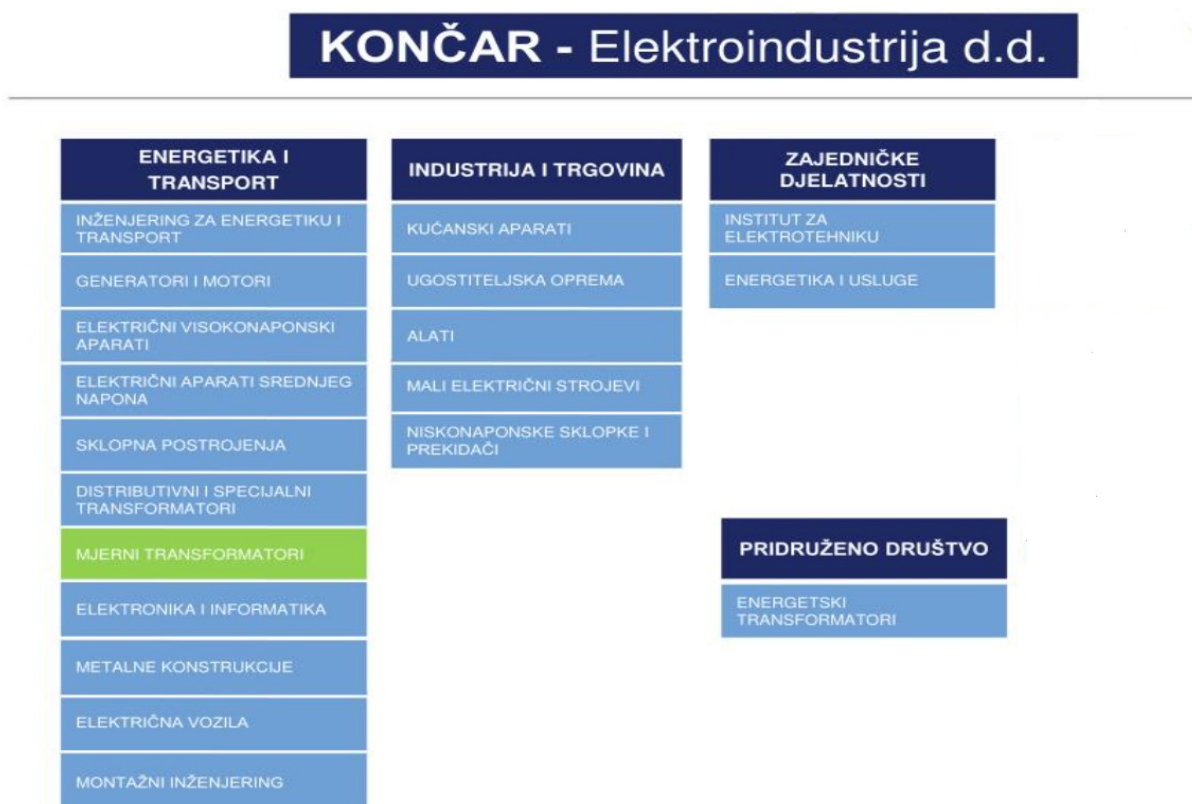
Paralelno s kvantitativnom analizom provest ćemo kvalitativno istraživanje kako bismo bolje razumjeli procese, protokole i izazove s kojima se susrećemo. To će uključivati praćenje procesa te proučavanje dokumentacije o proizvodnji i ispitivanju transformatora. [2]

Kombinacija ovih dviju metoda omogućava nam da pružimo detaljne i relevantne uvide u procese skladištenja i manipulacije transformatorima nakon ispitivanja. Ovaj pristup također će nam omogućiti da formuliramo praktične i ostvarive preporuke za optimizaciju ovih procesa. [2]

## 2. KONČAR – MJERNI TRANSFORMATORI d.d.

Povijest KONČARA potječe još od 1921. kada je osnovano poduzeće koje se prvotno zvalo Elektra. Na početku tvrtka je bila servisna radionica koja je pokazivala veliki potencijal te je iste godine akvizirana od grupe Siemens. Kroz povijest kompanija je još nekoliko puta mijenjala ime, a od 1. siječnja 1991. godine organizirano je kao dioničko društvo i djeluje pod današnjim imenom, KONČAR – Elektroindustrija d.d. [3]

Danas je poslovna grupa KONČAR – Elektroindustrija d.d. matična društva te paralelno uz nju grupaciju dodatno čini 13 osnovnih i 1 pridruženo društvo. Končar – Mjerni transformatori, d.d. svrstava se u jedno od 13 osnovnih društava u grupi. Osnovna djelatnost Grupe KONČAR je proizvodnja i montaža opreme te postrojenja za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Na slici [Slika 2.1] prikazana je organizacijska struktura kompanije. [4]



Slika 2.1 Organizacijska struktura kompanije Končar – Elektroindustrija d.d [3]

## 2.1. Osnovne informacije o poduzeću

Končar – Mjerni transformatori, d.d. kao član veće grupacije pod već spomenutim nazivom KONČAR – Elektroindustrija, d.d. posluje kao poslovna jedinica od 1947. godine sa sjedištem u Zagreb. Društvo trenutno zapošljava 266 zaposlenih od kojih oko 50 ima sveučilišnu diplomu. Prosječna dob zaposlenika je 41 godinu, a prosječni radni staž 19 godina. Takav omjer predstavlja optimalnu kombinaciju mladosti i iskustva koja je potrebna za uspješno poslovanje društva. Površina tvornica prostire se na preko 26 530 m<sup>2</sup> te je od toga oko 10 000 m<sup>2</sup> natkrivenog proizvodnog prostora. Na slici je prikazana vanjska prostorija tvrtke sa sjeverne strane. [5]



Slika 2.2 Vanjska prostorija tvrtke sa sjeverne strane [6]

Lokacija tvornice ima ključan utjecaj na uspjeh proizvodne tvrtke. Pravilan odabir mikrolokacije može pružiti brojne prednosti i pomoći tvrtki da ostvari konkurentske prednosti na tržištu.

Dostupnost sirovina je jedan od važnih čimbenika prilikom odabira lokacije tvornice. Ako je tvrtka ovisna o određenim sirovinama ili materijalima, optimalno je smjestiti tvornicu blizu izvora tih sirovina. To može smanjiti troškove transporta i olakšati kontinuiranu opskrbu sirovinama. Također, blizina dobavljača može olakšati suradnju i poboljšati učinkovitost lanca opskrbe. U ovom slučaju tvrtka je smještena na rubu glavnog grada Hrvatske, Zagreba te se lokacija može smatrati zadovoljavajućom iz spomenutog gledišta.

Dostupnost radne snage također je ključan faktor. Tvrtke trebaju uzeti u obzir dostupnost kvalificirane radne snage u odabranoj mikrolokaciji. To uključuje procjenu dostupnosti radnika s potrebnim vještinama i kvalifikacijama za određenu industriju. Također, trošak rada u određenoj regiji može imati značajan utjecaj na ukupne troškove poslovanja. [7]

Infrastruktura je također važan faktor pri odabiru lokacije tvornice. Dobra povezanost s cestama, lukama, zračnim lukama ili željezničkim stanicama olakšava transport sirovina i gotovih proizvoda. Kvalitetna infrastruktura također može utjecati na efikasnost distribucije proizvoda. [7]

Troškovi poslovanja također su važni za tvrtku prilikom odabira lokacije tvornice. To uključuje troškove najma zemljišta, prijevoza i snabdijevanja energijom. Ponekad je jeftinije smjestiti tvornicu u blizini dobavljača ili ključnih tržišta kako bi se smanjili troškovi transporta i distribucije. Također, porezi i regulatorni okviri mogu se razlikovati u različitim regijama, što također može utjecati na ukupne troškove poslovanja. [7]



Osim navedenih čimbenika, tvrtke također moraju razmotriti privlačnost odabrane lokacije. To uključuje socioekonomske čimbenike, poput stabilnosti političkog okruženja i sigurnosti, te kvalitete života za zaposlene. Privlačna mikrolokacija može privući kvalificiranu radnu snagu i podržati dugoročno uspješno poslovanje tvrtke. [8]

Kada se govori o mikrolokaciji, poduzeće Končar - Mjerni transformatori je smješteno u industrijskoj zoni zapadno od centra grada Zagreba. Ova lokacija je povoljna zbog svoje povezanosti s prometnom infrastrukturom. Tvrtka je smještena u blizini glavnih cesta i prometnih čvorišta, što omogućava jednostavan pristup za transport sirovina i gotovih proizvoda. Osim toga, tvrtka se nalazi u blizini važnih logističkih čvorišta, uključujući željeznički kolodvor i autobusni terminal, što olakšava distribuciju proizvoda na nacionalnoj i međunarodnoj razini. U tablici [Tablica 1.] prikazani su težinski faktori te njihove vrijednosti. Na osnovu toga može se odrediti važnost pojedinog parametra pri odabiru lokacije.

**Tablica 1. Težinski faktori i ocjene [7]**

Factor	Rating (1-100)	Weight	Factor-Rating
Energy availability	60	0.3	18
Labor availability	80	0.2	16
Transportation	40	0.2	8
Supplies	90	0.1	9
Taxes and regulations	70	0.1	7
Infrastructure	70	0.1	7

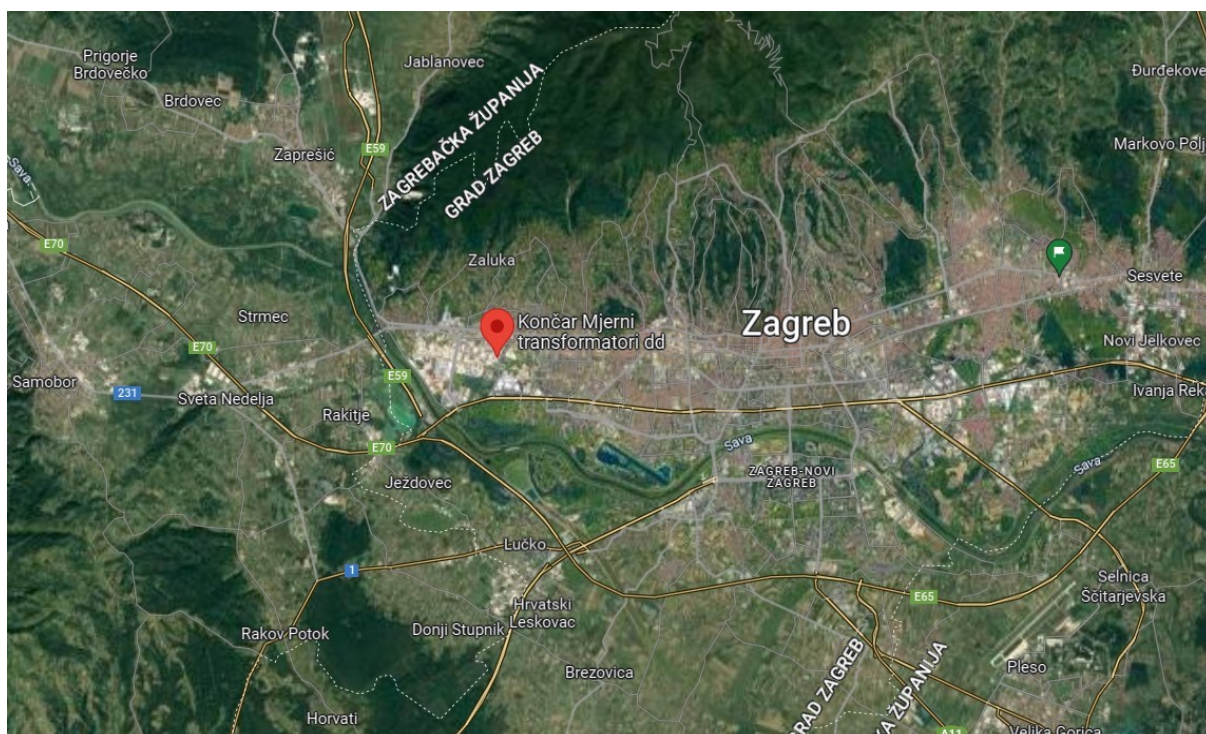
U prvom stupcu po redovima su sljedeći faktori: energetska dostupnost, dostupna radna snaga, transport, zalihe, porezi i regulacije te u zadnjem redu imamo infrastrukturu. U drugom stupcu je ocjena koja je u rasponu od 1 do 100. Treći stupac prikazuje težinu ocjene, a zadnji stupac je umnožak ocjene i težine ocjene koja prikazuje stvarni prikaz.

Na slici [Slika 2.3] prikazana je mikrolokacija tvrtke. Ono dijeli zemljište s druge dvije podružnice Končara, D&ST (Distributivni i specijalni transformatori) te KPT (Energetski transformatori).



**Slika 2.3 Mikrolokacija kompanije [9]**

Na slici [Slika 2.4] vidi se mikrolokacija kompanije „Končar – Mjerni transformatori“. Budući da je kompanija smještena u Zagrebu, glavnom gradu Hrvatske, koji je ujedno i najveći grad svi dobavljači su usmjereni i posluju prema Zagrebu.

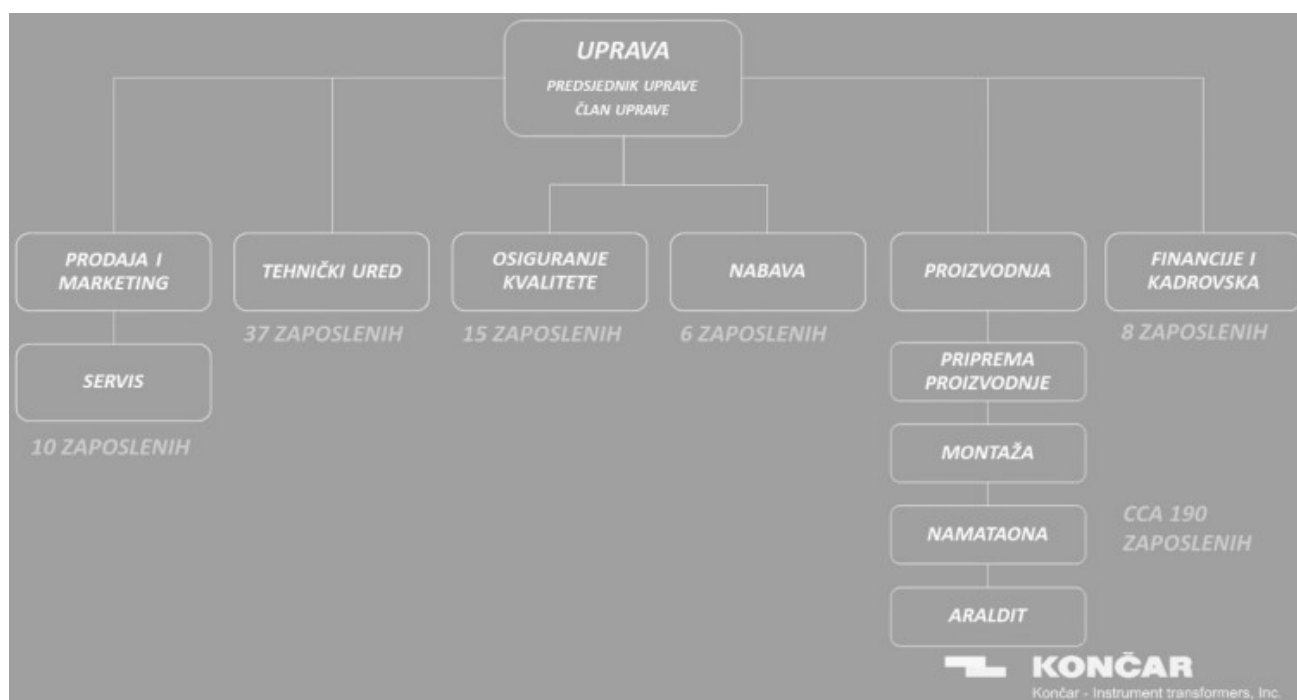


**Slika 2.4 Makrolokacija kompanije [9]**

Organizacijska struktura kompanije uključuje prodaju i marketing, tehnički ured, osiguranje kvalitete, nabavu, proizvodnju i financije može biti je hijerarhijska. U hijerarhijskoj strukturi, kompanija je organizirana u vertikalne hijerarhijske razine, gdje svaki odjel izvještava o nadređenom odjelu. Na primjer, odjel tehničkog ureda može izvještava tehničkom direktoru.

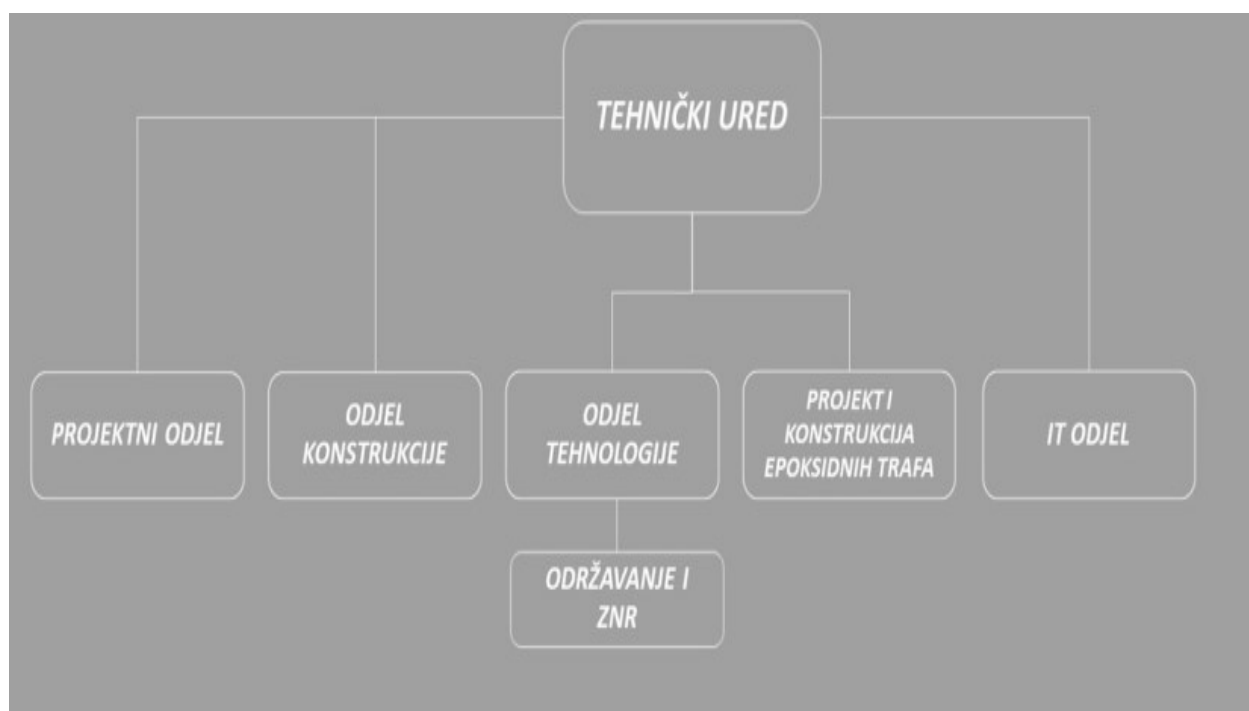
Ciljevi organizacijske strukture uključuju uspostavljanje jasnije odgovornosti i ovlaštenja za svaki odjel, što pomaže u stvaranju jasnije hijerarhije i smanjenju preklapanja odgovornosti. Također, organizacijska struktura može poticati suradnju i komunikaciju među različitim odjelima, timovima ili funkcionalnim jedinicama, što može rezultirati boljom koordinacijom i sinergijom među timovima.

Dodatno, olakšava donošenja odluka i brže reagiranje na promjene u okruženju poslovanja. Može se reći da organizacijska struktura pruža temelj za rast i razvoj kompanije, omogućujući skaliranje poslovanja, prilagodbu novim tržišnim uvjetima i postizanje poslovnih ciljeva kompanije. Na slici [Slika 2.5] prikazana je organizacijska struktura kompanije Končar – Mjerni transformatori d.d.



Slika 2.5 Organizacijska struktura cijelog poduzeća [6]

Kada se govori o organizacijskoj strukturi tehničkog ureda, on se sastoji od projektnog odjela, odjela konstrukcija, odjela tehnologija, odjela održavanja i IT odjela, koji imaju svoje ciljeve i svrhu. Cilj projektnog odjela je upravljati projektima i osigurati njihovu uspješnu provedbu, dok odjel konstrukcija razvija i dizajnira transformatore. Odjel tehnologija brine o primjeni tehnoloških rješenja, odjel održavanja se fokusira na održavanje i servisiranje opreme ili sustava, dok IT odjel pruža podršku za informacijsku tehnologiju u organizaciji. Na slici [Slika 2.6] prikazana je organizacijska struktura tehničkog ureda. [4]



Slika 2.6 Organizacijska struktura tehničkog ureda [6]

Svrha ovih odjela je osigurati učinkovito upravljanje tehničkim aspektima poslovanja te postizanje ciljeva organizacije u smislu razvoja proizvoda, primjene tehnoloških inovacija, održavanja i podrške za IT sustave te uspješne provedbe projekata.

## 2.2. Poslovanje kompanije i finansijski pokazatelji

Tvrtka KONČAR - Mjerni transformatori d.o.o., specijalizirana je za proizvodnju mjernih transformatora, s fokusom na visokokvalitetne proizvode koji su ključni za točno mjerenje i pouzdanu zaštitu elektroenergetskih sistema. Kompanija nudi širok spektar proizvoda, uključujući strujne i naponske transformatore za unutarnju i vanjsku ugradnju, te transformatorske sklopove za posebne namjene. Svi proizvodi su dizajnirani i proizvedeni prema najvišim standardima kvalitete, što tvrtki omogućuje isporuku pouzdanih rješenja za zahtjevne energetske projekte širom svijeta.

Tvrtka ima snažan fokus na inovacije i kontinuirani razvoj svojih proizvoda. Istraživanje i razvoj ključan je dio strategije tvrtke, s ciljem pružanja naprednih rješenja koja odgovaraju na dinamičke potrebe tržišta. U tom kontekstu, radi se na stalnom poboljšanju svojih tehnologija i procesa, kako bi se osigurala izvrsnost u svim aspektima poslovanja.

Poslovanje tvrtke odvija se na globalnoj razini, s prodajom proizvoda u više od 80 zemalja. Time se postiže reputacija pouzdanog partnera u energetske industriji, s dugogodišnjom tradicijom i bogatim iskustvom na ovom području. [10]

Ključna tržišta tvrtke su Europa, Azija, Afrika i Južna Amerika, gdje se njeni proizvodi koriste u različitim sektorima, uključujući proizvodnju i distribuciju električne energije, industriju, transport i infrastrukturne projekte. [10]

Ukupno gledajući, poduzeće je usredotočeno na pružanje visokokvalitetnih rješenja koja zadovoljavaju specifične potrebe kupaca, snažno se oslanjajući na svoje tehničko znanje, inovativnost i posvećenost izvrsnosti.



Tvrtka nastavlja rasti i razvijati se, s ciljem daljnjeg jačanja svog položaja na tržištu i ostvarivanja svoje vizije postati vodeći svjetski proizvođač mjernih transformatora. Kroz neprekidnu posvećenost inovacijama, izvrsnosti u kvaliteti i isporuci pouzdanih rješenja, kompanija nastoji unaprijediti svoje poslovanje i ostvariti dugoročni, održivi rast. Snažan fokus na zadovoljstvo kupaca, tehnološki napredak i održivi razvoj, čini temelj tvrtkine strategije i ključan je za njen daljnji uspjeh na globalnom tržištu.

**KONČAR – MJERNI TRANSFORMATORI d.d.**  
**IZVJEŠTAJ O SVEOBUHVAATNOJ DOBITI**  
**ZA GODINU KOJA JE ZAVRŠILA 31. PROSINCA 2021.**

	Bilješka	2021. HRK'000	2020. HRK'000
Prihodi od prodaje	4	186.890	213.575
Ostali poslovni prihodi	5	3.955	1.801
<b>Poslovni prihodi</b>		<b>190.845</b>	<b>215.376</b>
Povećanje zaliha nedovršene proizvodnje i gotovih proizvoda		1.966	2.607
Troškovi materijala, energije, prodane robe i usluga	6	(130.761)	(137.173)
Troškovi osoblja	7	(46.265)	(46.819)
Amortizacija	8	(6.140)	(5.727)
Ostali troškovi	9	(2.507)	(9.279)
Umanjenje vrijednosti	10	-	(3.729)
<b>Poslovni rashodi</b>		<b>(183.707)</b>	<b>(200.120)</b>
<b>Dobit iz osnovne djelatnosti</b>		<b>7.138</b>	<b>15.256</b>
Financijski prihodi	11	2.420	15
Financijski rashodi	12	(599)	(2.867)
<b>Financijski rashodi– neto</b>		<b>1.821</b>	<b>(2.852)</b>
<b>Dobit prije oporezivanja</b>		<b>8.959</b>	<b>12.404</b>
Porez na dobit	13	(673)	(1.206)
<b>DOBIT ZA GODINU</b>		<b>8.286</b>	<b>11.198</b>
<b>Ostala sveobuhvatna dobit</b>		<b>-</b>	<b>-</b>
<b>SVEOBUHVAATNA DOBIT ZA GODINU</b>		<b>8.286</b>	<b>11.198</b>
Zarada po dionici (osnovna i razrijeđena) u kunama	14	65,46	88,46

Slika 2.7 Financijski izvještaj za 2021. godinu [11]

Ključni aspekti poslovanja su bitni jer pružaju strukturu i smjernice za sve aktivnosti unutar tvrtke. Ujedno predstavljaju temelj na kojem se gradi uspjeh organizacije. Osnovne vrijednosti, misija i vizija oblikuju kulturu tvrtke, motiviraju zaposlenike i pomažu u donošenju strateških odluka.

Svaki aspekt poslovanja je međusobno povezan. Neadekvatno upravljanje bilo kojim ključnim aspektom može negativno utjecati na sve ostale. Na primjer, loše financijsko upravljanje može rezultirati smanjenim resursima za razvoj proizvoda, marketing i prodaju, što može u konačnici dovesti do smanjenja prodaje i profita. Za KONČAR – Mjerni transformatori ključni aspekti poslovanje mogu se podijeliti u 6 glavnih kategorija. [12]

1. Inovacija: KONČAR - Mjerni transformatori kontinuirano ulaže u istraživanje i razvoj kako bi poboljšao svoje proizvode i procese. Ova stalna posvećenost inovacijama omogućava tvrtki da ostane konkurentna i na čelu tehnoloških trendova.
2. Kvaliteta: Kvaliteta je od ključne važnosti za poslovanje KONČAR - Mjernih transformatora. Tvrtka je posvećena održavanju visokih standarda kvalitete u svim aspektima poslovanja, od dizajna do proizvodnje i isporuke.
3. Održivost: KONČAR - Mjerni transformatori svjesni su svog utjecaja na okoliš i društvo, stoga nastoje minimizirati svoj ekološki otisak i pridonijeti održivom razvoju. Uključujući korištenje ekološki prihvatljivih materijala, smanjenje otpada i poticanje energetske učinkovitosti.
4. Suradnja s kupcima: KONČAR - Mjerni transformatori posvećeni su pružanju iznimne usluge kupcima. Nastoji se raditi na izgradnji dugoročnih odnosa sa svojim kupcima, pružajući personalizirane usluge i rješenja koja zadovoljavaju specifične potrebe svakog kupca.



5. Globalna prisutnost: Iako je KONČAR - Mjerni transformatori snažno ukorijenjen u Hrvatskoj, tvrtka je globalni igrač s prisutnošću na mnogim međunarodnim tržištima. Ova globalna prisutnost omogućava tvrtki pristup širokom spektru kupaca i različitim tržištima.
6. Ljudski resursi: KONČAR - Mjerni transformatori prepoznaje važnost svojih zaposlenika za ukupan uspjeh tvrtke. Stoga nastoji privući i zadržati talentirane pojedince, nudeći atraktivne uvjete rada i mogućnosti za profesionalni razvoj.

Financijski pokazatelji su alati koji se koriste za ocjenu financijskog stanja i performansi tvrtke. Ovi pokazatelji izračunavaju se na temelju podataka iz financijskih izvještaja tvrtke, uključujući bilancu, račun dobiti i gubitka, i izvješće o novčanim tokovima. Financijski pokazatelji pomažu menadžerima, investitorima, analitičarima i drugim zainteresiranim stranama da bolje razumiju financijsku situaciju tvrtke i donose informirane odluke. Oni se obično se klasificiraju u četiri glavne kategorije: likvidnost, solventnost, profitabilnost i efikasnost. [13]

Pokazatelji likvidnosti mjere sposobnost tvrtke da podmiri svoje kratkoročne obveze. Ovi pokazatelji uključuju omjer trenutne likvidnosti, brzi omjer i omjer novčanih sredstava. U tablici [Tablica 2] prikazan je koeficijent trenutne likvidnosti za 2021. i 2022. godinu.

**Tablica 2. Prikaz trenutne likvidnosti za kompaniju KONČAR - Mjerni transformatori d.d.**

	2021. godina	2022. godina
Novac u banci i blagajni (063)	22,218,396	101,517,627
Kratkoročne obveze (109)	15,428,824	23,691,239
Koeficijent trenutne likvidnosti	1,44 (144 %)	4,285 (428,5 %)

Pokazatelji solventnosti ocjenjuju dugoročnu sposobnost tvrtke da podmiri svoje obveze, uključujući omjer duga i kapitala (eng. *debt to equity ratio*), omjer duga i imovine (eng. *debt to asset ratio*), te omjer vlastitog kapitala i ukupne imovine (eng. *equity to asset ratio*).

Pokazatelji profitabilnosti mjere sposobnost tvrtke da generira dobit. Ti pokazatelji uključuju neto maržu (eng. *net profit margin*), povrat na prodaju (eng. *return on sales*), povrat na imovinu (eng. *return on assets*) i povrat na kapital (eng. *return on equity*).

Pokazatelji efikasnosti ocjenjuju kako tvrtka koristi svoje resurse. To uključuje pokazatelje poput obrtaja zaliha (eng. *inventory turnover*), obrtaja dugotrajne imovine (eng. *fixed asset turnover*), i obrtaja ukupne imovine (eng. *total asset turnover*).

### 2.3. Proizvodni program

Mjerni transformatori imaju značajnu ulogu u industrijskom inženjerstvu pružajući precizna mjerenja električnih parametara u energetske sustavima. Pomažu u praćenju, kontroli i zaštiti električne opreme te osiguravaju siguran i učinkovit rad industrijskih procesa. Postoje dva glavna tipa mjernih transformatora: strujni transformatori (AGU) i naponski transformatori (VPU i VCU), poznati i kao potencijalni transformatori. [14]

Strujni transformatori koriste se za mjerenje struje u električnom krugu, dok naponski transformatori mjere napon. Oba tipa transformatora smanjuju visoke naponske razine i struje u energetske sustavima na razine koje se mogu sigurno mjeriti standardnim instrumentima. Na taj način omogućavaju točna mjerenja bez izlaganja osoblja ili opreme potencijalno opasnim uvjetima. [14]

Mjerni transformatori su neophodni za razne industrijske primjene, kao što su:

- Mjerenje energije: Precizna mjerenja električnih parametara nužna su za obračun potrošnje, procjenu kvalitete energije i upravljanje energijom.
- Zaštita opreme: Mjerni transformatori pružaju podatke za zaštitne releje koji su konstruirani za prepoznavanje i izolaciju kvarova u energetske sustavima kako bi se spriječilo oštećenje opreme i osigurao kontinuitet opskrbe.
- Kontrola procesa i automatizacija: U industrijskim postrojenjima mjerni transformatori koriste se za nadzor i kontrolu električne opreme, osiguravajući učinkovit i siguran rad procesa. [15]

Strujni transformatori su općenito kategorizirani u dvije vrste temeljene na njihovoj konstrukciji: namotani AGU-ovi i toroidalni ili "prozorski" AGU-ovi. Namotani AGU-ovi se sastoje od primarnog namota koji je spojen u seriju s krugom, dok toroidalni AGU-ovi imaju primarni namotaj s jednim zavojem koji prolazi kroz središte toroidalne jezgre. U oba slučaja, sekundarni namotaj je namotan oko jezgre, proizvodeći struju koja je smanjena proporcionalno primarnoj struji. [15]

Naponski transformatori su klasificirani kao induktivni ili elektromagnetski VPU-ovi i kapacitivni VCU-ovi. Elektromagnetski VPU-ovi su slični konstrukciji konvencionalnih energetske transformatora, koristeći magnetsku jezgru i primarne i sekundarne namotaje. Kapacitivni VCU-ovi, s druge strane, koriste kapacitivni naponski djelitelj za smanjenje visokog napona prije nego što ga mjeri sekundarni namotaj. Oba tipa naponskih transformatora konstruirana su tako da pruže smanjeni napon koji je proporcionalan primarnom naponu. [16]

Primjene mjernih transformatora su brojne, uključujući mjerenje energije, primjena u zaštitnim kao sigurnosne sklopke te za kontrolu procesa i automatizaciju. U mjerenju energije, točna mjerenja električnih parametara su potrebna za obračun potrošnje, procjenu kvalitete energije i upravljanje energijom. Mjerni transformatori pružaju podatke za zaštitne releje, koji su konstruirani za prepoznavanje i izolaciju kvarova u energetske sustavima, čime se sprječava oštećenje opreme i osigurava kontinuitet opskrbe. U industrijskim postrojenjima, mjerni transformatori koriste se za nadzor i kontrolu električne opreme, osiguravajući učinkovit i siguran rad procesa. [17]

Kompanija generalno proizvodi mjerne transformatore koji se dijele u dvije glavne skupine:

- Sredjenaponski transformatori.
- Visokonaponski transformatori.

Srednjenaponski mjerni transformatori se instaliraju u elektroenergetske mreže s područjem napona od 3,6 do 52 kV. Za izolaciju se koristi papir koji je impregniran uljem ili visokokvalitetna epoksidna smola s izvrsnim izolacijskim i mehaničkim svojstvima, koja se lijeva pod visokim vakuumom. Transformatori se dizajniraju i proizvode u skladu s relevantnim standardima. Na slici [Slika 2.8] prikazan je srednjenaponski mjerni transformator koji se koristi za vanjsku montažu. [18]



**Slika 2.8 Srednjenaponski transformator za vanjsku montažu [18]**

Visokonaponski mjerni transformatori imaju ključnu funkciju u prijenosnoj ili distribucijskoj mreži, gdje služe za zaštitu mjernih i zaštitnih uređaja od visokog napona, kao i za pretvaranje izmjerenih struja i napona u oblik koji je pogodan za mjerenje i zaštitu s određenim stupnjem preciznosti. [19]



**Slika 2.9 Visokonaponski mjerni transformator [19]**

Transformatori se mogu podijeliti na još pet podgrupa s obzirom na njihovu primjenu:

- Strujne transformatore (tip AGU).
- Induktivne naponske transformatore (VPU).
- Kapacitivne naponske transformatore (tip VCU).
- Naponske transformatore velikih snaga (tip VPT).
- Kombinirane transformatore (tip VAU).

Na slici [Slika 2.10] prikazan je strujni transformator, tipa AGU. Njihov životni vijek je otprilike 50 godina, ovisno o uvjetima rada. Koriste se za prilagodbu mjerenih visokih struja na iznose unutar definirane točnosti koje su pogodne za priključak uređaja za mjerenje, zaštitu i upravljanje. Istovremeno ih izoliraju od visokog napona mreže. [19]



**Slika 2.10 Strujni transformator – AGU [19]**

Mjerni transformatori se između ostalog mogu podijeliti i prema mjestu ugradnje:

- Transformatore za vanjsku ugradnju
- Transformatore za unutarnju ugradnju.

Na slici [Slika 2.11] prikazan je kapacitivni naponski transformator, VCU koji prema području napona spada u srednje naponsku skupinu.



**Slika 2.11 VCU Transformator [18]**

Sljedeća podjela je prema vrsti glavne izolacije koja se koristi u transformatoru, gdje se razlikuju:

- Papir impregniran uljem
- Plin SF6
- Epoksidna smola

Posljednja važna podjela mjernih transformatora je prema namjeni, gdje se razlikuju:

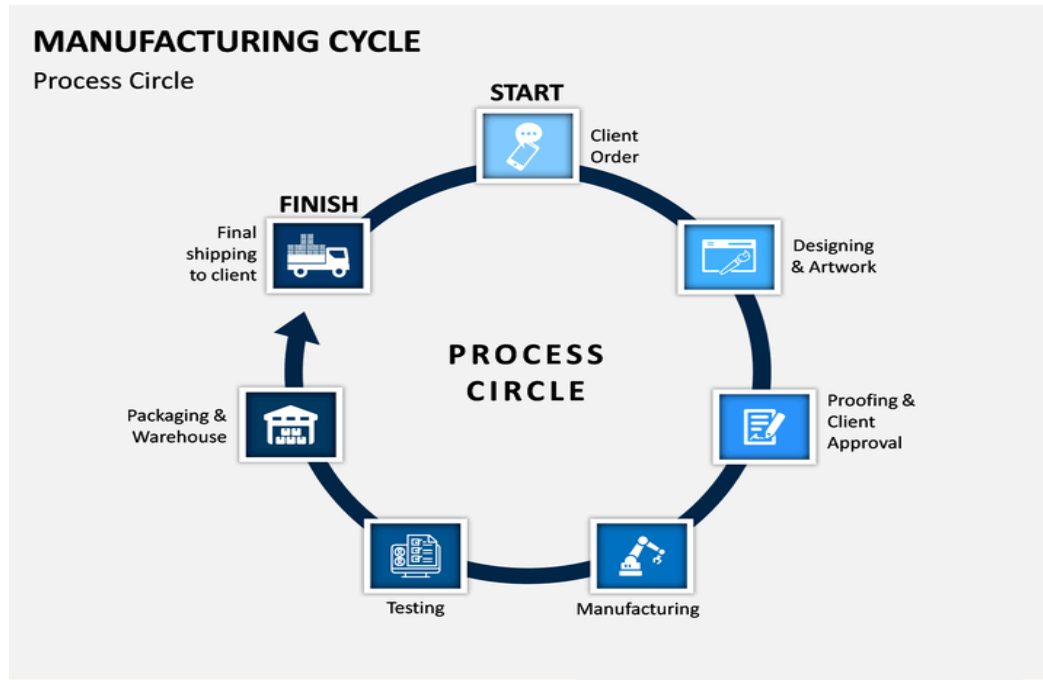
- Transformatori za spajanje mjernih uređaja
- Transformatori za spajanje zaštitnih uređaja



### 3. PRIKAZ I ANALIZA PROCESA

Proizvodnja je proces pretvaranja sirovina ili komponenti u gotove proizvode ili usluge kroz različite faze, kao što su dizajn, planiranje, nabava, obrada, montaža, ispitivanje i pakiranje. Može biti izvedena u različitim industrijama i sektorima, uključujući proizvodnju robe, prehrambenu industriju, automobilsku industriju, farmaceutsku industriju, elektroničku industriju i mnoge druge. U ovom radu glavni naglasak biti će u proizvodnji transformatora. Proces proizvodnje može biti automatiziran ili ručni, a optimizacija proizvodnih procesa je ključna za postizanje efikasnosti, kvalitete, isporuke na vrijeme i konkurentske prednosti na tržištu. [20]

Proizvodnja mjernih transformatora je složen postupak koji zahtijeva preciznost i pažnju na detalje, kako bi se osiguralo da je krajnji proizvod pouzdan i točan. Mjerni transformatori su specijalizirani uređaji čija je glavna funkcija transformacija visokih struja ili napona na znatno niže vrijednosti koje su sigurne za mjerenje standardnim mjernim instrumentima.



Slika 3.1 Ciklus proizvodnje [21]

Na slici [Slika 3.1] prikazan je jedan ciklus proizvodnje koji se koristi i za proizvodnju mjerni transformatora. Prvi korak koji je vidljiv sa slike je naravno narudžba potencijalnog kupca, koji će za kompaniju Končar – Mjerni transformatori vjerojatno biti izvan granica Republike Hrvatske. Zatim slijedi konstruiranje i izrada potrebne dokumentacije prema željama kupca. Ukoliko su obje strane zadovoljne, sklapa se ugovor te se može krenuti s procesom proizvodnje.

Nakon uspješne proizvodnje slijede nama zanimljivi procesi testiranja, koji moraju biti zadovoljeni kako bi se moglo krenuti u slijedeću fazu pakiranja i skladištenja. Zadnja faza obuhvaća siguran prijevoz koji će naravno na vrijeme isporučiti mjerne transformatore kupcu.

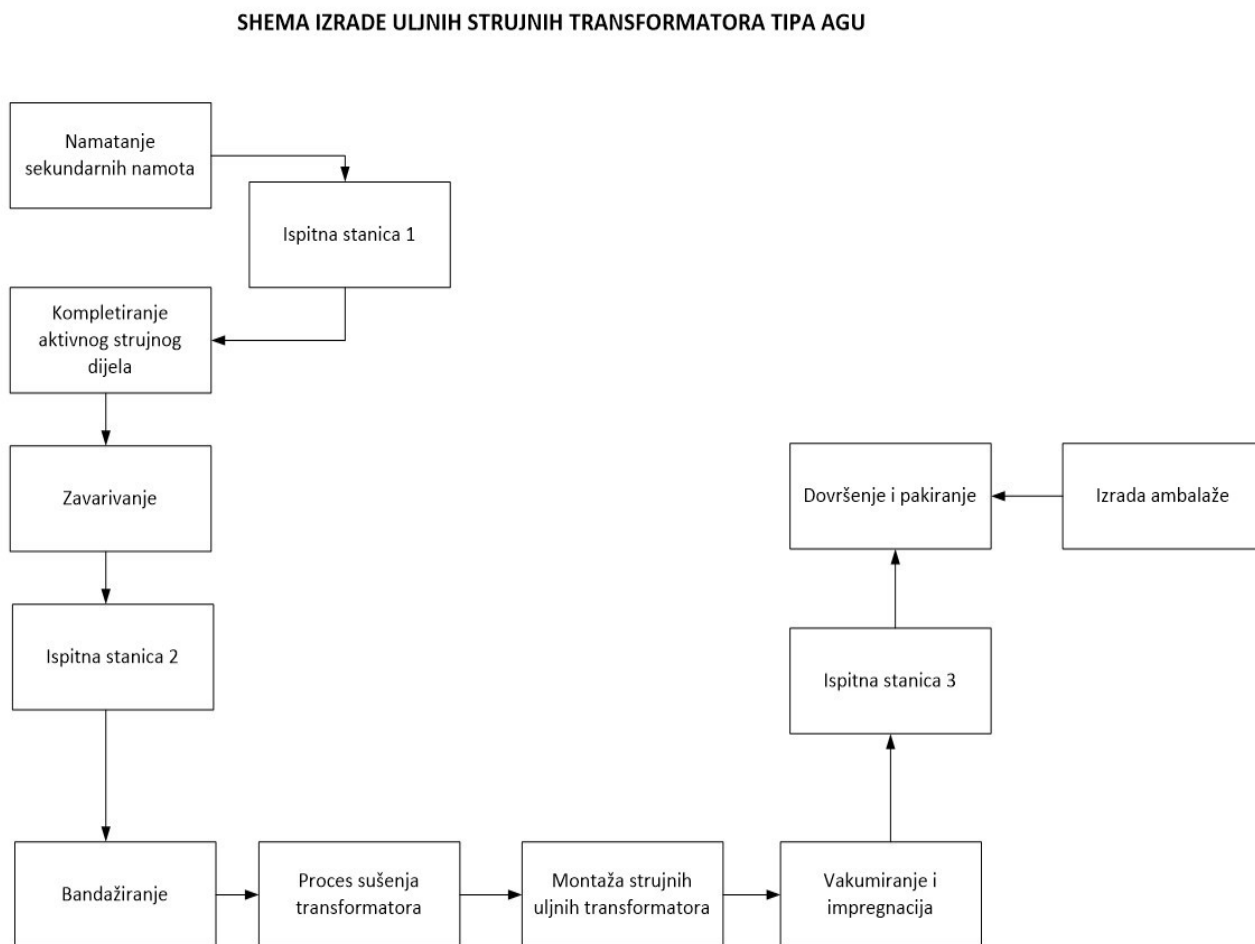
U slijedećem koraku bit će prikazane osnovne faze u proizvodnji mjernog transformatora. Iako se proizvodnja i sami njeni dijelovi razlikuju ovisno o pojedinoj vrsti transformatora ovdje ćemo prikazati generalni prikaz proizvodnje koji je zajednički svim mjernim transformatorima, a u daljnjim poglavljima naglasak će biti na prikazu proizvodnje specifične vrste. Osnovni pregleda procesa proizvodnje mjernih transformatora:

1. **Konstrukcija:** Konstrukcija transformatora je kritičan korak u proizvodnom procesu. To uključuje odabir materijala, dimenzija, konfiguracije namotaja, vrste izolacije i drugih parametara. Također, konstrukcija bi trebala uzeti u obzir standardne i međunarodne zahtjeve.
2. **Namotavanje zavojnica:** Proces uključuje namotavanje zavojnica od bakrene ili aluminijske žice. Primarni i sekundarni namotaji se odmotavaju na odgovarajuće jezgre transformatora.
3. **Montaža jezgre:** Jezgra transformatora, obično izrađena od visoko permeabilnog silicijskog čelika, montira se u tijelo transformatora.
4. **Izolacija:** Izolacijski materijali se koriste za izolaciju namotaja i jezgre. To može biti ulje, plin, zrak, papir ili neki drugi materijal. Izolacija je važna kako bi se spriječio kratki spoj i održala visoka točnost transformatora.
5. **Sastavljanje:** Svi dijelovi transformatora se zatim sastavljaju. To uključuje ugradnju namotaja i jezgre u kućište transformatora, spajanje terminala i drugih komponenata.

6. **Testiranje:** Svaki transformator mora proći stroge testove prije isporuke. Oni uključuju provjeru točnosti, izolacijskih svojstava, termičkih performansi i otpornosti na mehaničke stresove.
7. **Pakiranje i dostava:** Konačno, gotovi proizvodi se pakiraju i šalju kupcima.

### 3.1 Prikaz proizvodnog procesa

Visokonaponski mjerni transformatori koji su izolirani uljem još se nazivaju i AGU mjerni transformatori. Shema njihove proizvodnje vidljiva je na slici [Slika 3.2].



**Slika 3.2 Shema izrade uljnih strujnih transformatora tipa AGU**

Proizvodnja strujnih uljnih transformatora kreće s namatanjem sekundarnih namota. Oni se obično sastoje od većeg broja zavoja u usporedbi s primarnim namatanjem, a izrađuju se od provodničke žice (najčešće bakra) omotane oko jezgre transformatora. U brojnim mjernim transformatorima, ovaj broj zavoja je precizno određen kako bi se osigurala točna transformacijska omjer i omogućilo precizno mjerenje.

Proces namatanja zahtijeva preciznost i pažnju na detalje. Broj zavoja, debljina žice, raspored zavoja i način na koji su zavoji izolirani jedan od drugoga, sve su to faktori koji mogu značajno utjecati na performanse transformatora.

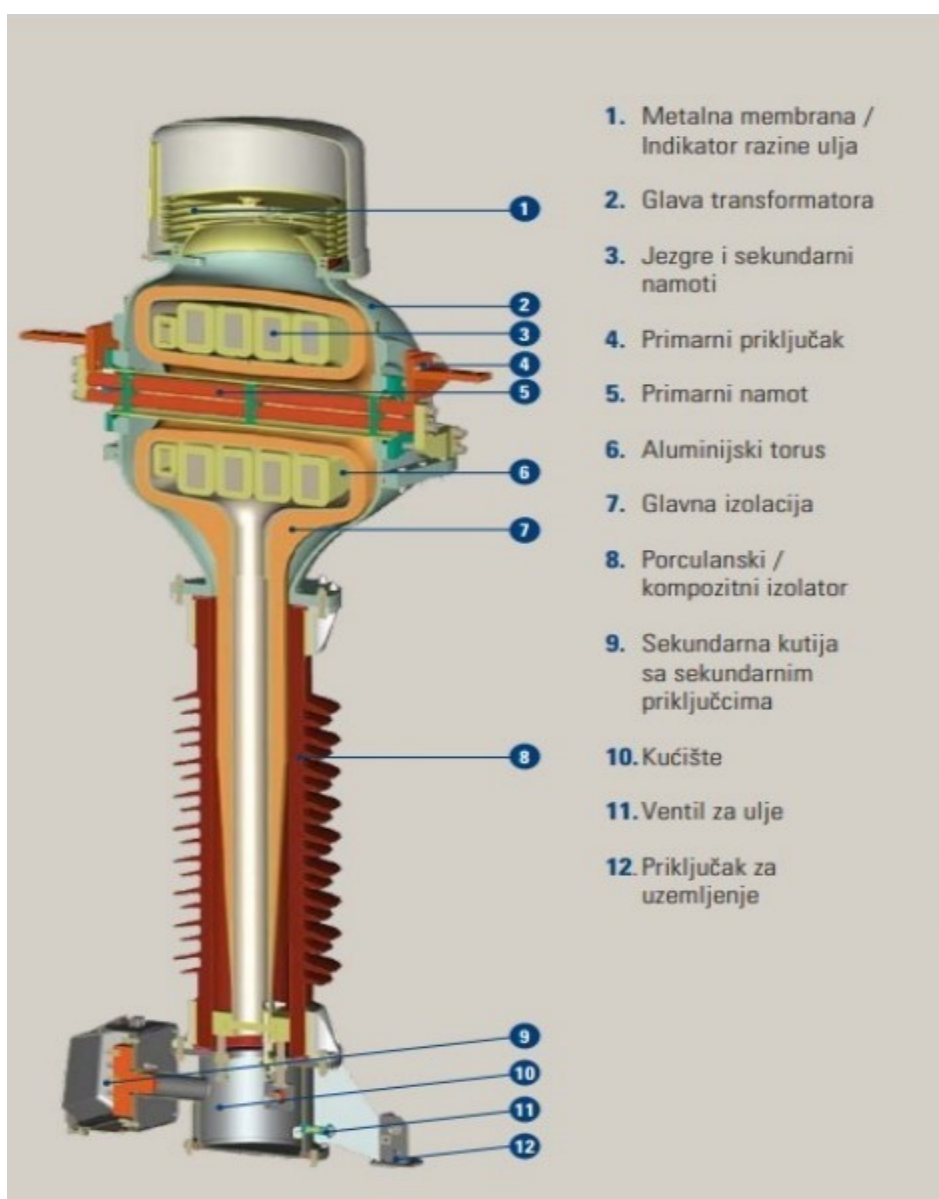
Pogreške u namatanju mogu dovesti do problema kao što su neravnomjerna distribucija topline, što može dovesti do pregrijavanja i potencijalnog oštećenja transformatora. Također, pogreške u namatanju mogu uzrokovati nepreciznosti u mjerenju, što može biti problematično s obzirom na to da je glavna svrha mjernih transformatora pružanje preciznih mjerenja.



**Slika 3.3 Namatanje sekundarnih namota**

Kompletiranje aktivnog strujnog dijela mjernog transformatora je postupak u kojem su primarni i sekundarni namotaji u potpunosti ugrađeni unutar jezgre transformatora. Spomenuti process se odvija prema slijedećim koracima:

1. **Postavljanje primarnog namotaja:** Primarni namotaj se prvo postavlja unutar jezgre transformatora.
2. **Postavljanje sekundarnog namotaja:** Nakon što je primarni namotaj postavljen, sekundarni namotaj se postavlja.



Slika 3.4 Dijelovi AGU transformatora [6]

Zavarivanje je dio procesa proizvodnje mjernih transformatora koji se koristi se za spajanje komponenti transformatora, uključujući terminalne veze, kućište i druge komponente.

S obzirom na to da transformatori moraju izdržati visoke struje, visoke napone i često rad u teškim uvjetima, zavarivanje mora biti precizno, a zavar mora biti zadovoljavajućih mehaničkih svojstava kako bi se osigurala dugotrajnost i pouzdanost transformatora.

Postupak zavarivanja uključuje sljedeće korake:

1. **Priprema:** Ovo uključuje čišćenje i brušenje površina koje treba zavariti kako bi se osiguralo da su čiste i spremne za zavarivanje.
2. **Postavljanje i pridržavanje specifikacija zavarivanja:** S obzirom na specifičnosti mjernih transformatora, važno je slijediti odgovarajuće specifikacije zavarivanja, uključujući vrstu zavara, vrstu dodatnog materijala te struju i napon zavarivanja.
3. **Proces zavarivanja:** Uključuje različite metode zavarivanja, kao što su MAG (eng. *Metal Active Gas*) zavarivanje te MIG (eng. *Metal Inert Gas*) zavarivanje.



Slika 3.5 Toroidalna jezgra spremna za proces zavarivanja



Nakon procesa zavarivanja slijede još dvije faze koje osiguravaju da je zavarivanje uspješno izvršeno:

1. Inspekcija i testiranje: Nakon što je zavarivanje završeno, zavari se pregledavaju i testiraju kako bi se osiguralo da su ispravni i čvrsti. Inspekcije uključuju vizualne inspekcije, ultrazvučno testiranje ili čak penetrantno testiranje.
2. Čišćenje i zaštita: Nakon zavarivanja i ispitivanja, površina zavara se čisti kako bi se uklonili eventualni ostaci i štetne tvari. Zavari se mogu premazati ili zaštititi na neki drugi način kako bi se spriječila korozija i oštećenje.

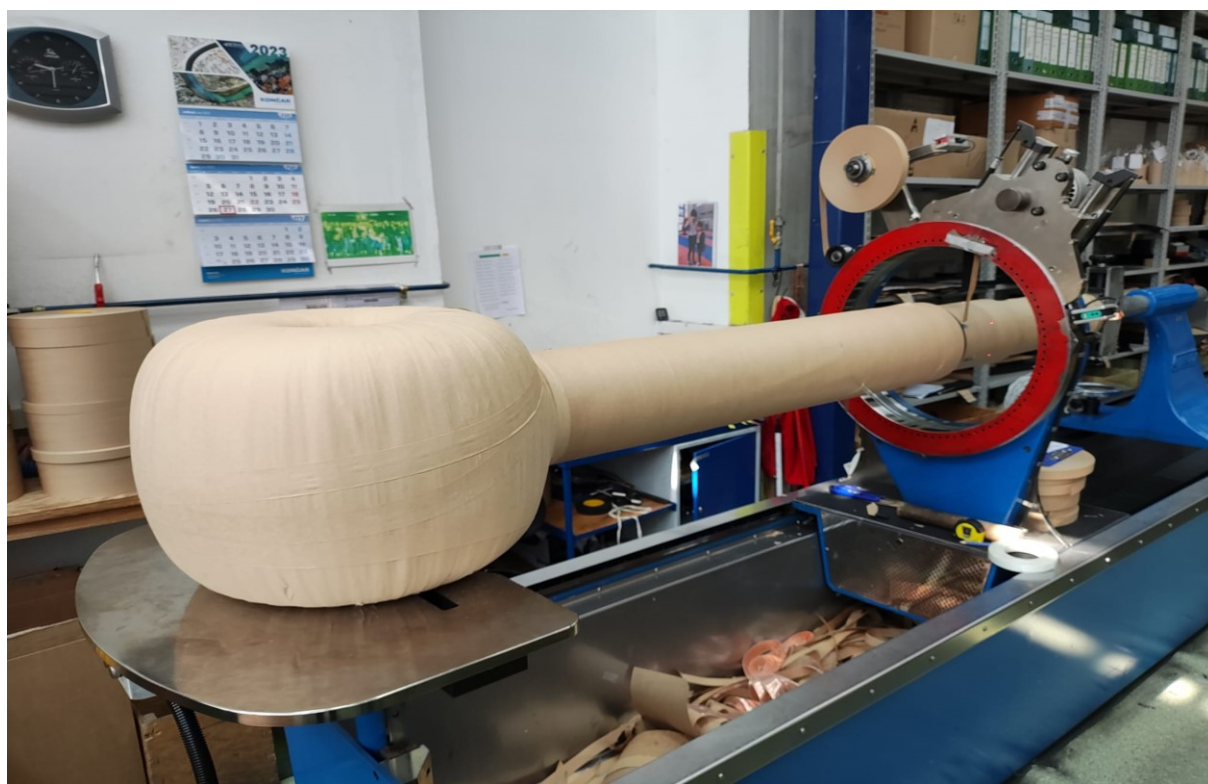


**Slika 3.6 Aparat za zavarivanje (MIG/MAG ili TIG)**

Bandažiranje, koje se još naziva trakiranje, je postupak u kojem se namotaji transformatora omotavaju visoko-čvrstom trakom, obično od staklenih vlakana, kako bi se osigurala strukturalna čvrstoća i otpornost na vibracije, posebno tijekom rada transformatora. Na slici [Slika 3.7] prikazan je proces bandažiranja transformatora.

Bandažiranje je ključan korak u proizvodnji transformatora jer pomaže u održavanju integriteta i oblika namota, smanjujući mogućnost mehaničkih oštećenja i produžujući vijek trajanja proizvoda. Koraci u procesu bandažiranja su sljedeći:

1. **Priprema:** Prije početka procesa bandažiranja, namotaji transformatora se pregledavaju kako bi se osiguralo da su pravilno postavljeni.
2. **Omotavanje:** Bandažna traka se zatim omotava oko namotaja pod kontroliranom napetošću, obično pomoću specijalizirane opreme. Traka mora biti dovoljno čvrsta da drži namotaje na mjestu, ali ne toliko čvrsta da bi mogla oštetiti namotaje.



Slika 3.7 Proces bandažiranja



Proces sušenja je također jako bitan korak u proizvodnji transformatora. Cilj sušenja je uklanjanje vlage koja se može akumulirati tijekom procesa proizvodnje. Vlaga može negativno utjecati na izolacijski materijal i performanse transformatora, te povećati rizik od kvarova.

Postoje različite metode sušenja, ali najčešće se koristi toplinska obrada. Transformatori se smještaju u specijalizirane peći ili komore za sušenje, gdje su izloženi visokim temperaturama kako bi se isparila vlaga. Temperatura i vrijeme sušenja ovisi o veličini i tipu transformatora, kao i o materijalima koji se koriste. Nakon sušenja, transformatori se obično hlade na sobnu temperaturu prije daljnje obrade. Na slici [Slika 3.8] prikazan je proces sušenja transformatora.



**Slika 3.8** Proces sušenja transformatora

Mjerni strujni transformatori koriste ulje kao izolacijski i rashladni medij. Održavanje kvalitete ovog ulja ključno je za dugovječnost i učinkovitost transformatora. Nakon sušenja transformatora, dolazi proces vakumiranja i impregnacije, koji se koristi za uklanjanje vlage i plinova iz ulja i izolacijskih materijala.

1. **Vakumiranje:** Ova faza koristi vakuum kako bi se izvukli plinovi i vlaga iz ulja i izolacijskog materijala. Kada se transformator stavi pod vakuum, molekule vode i plina zarobljene u ulju i izolaciji mogu ispariti i biti izvučene. Time se pospješuje kvaliteta izolacije.
2. **Impregnacija:** Nakon što su vlaga i plinovi uklonjeni, transformator se impregnira, ili ponovno napuni, kvalitetnim transformatorskim uljem. Ulje se obično zagrijava i ubrizgava pod vakuumom kako bi se osiguralo da prodire u sve dijelove izolacije i ispunjava bilo koji prostor koji je mogao ostati nakon vakuumiranja.



Slika 3.9 Peć za sušenje transformatora

Poslije procesa sušenja, vakumiranja i impregnacije, slijedi faza ispitivanja. Ova faza ispitivanja ključna je jer omogućuje potvrdu ispravnosti i sigurnosti transformatora prije ponovne upotrebe. Uljne mjerne transformatore, ispitivanja će se uglavnom koncentrirati na električke performanse i integritet izolacije.

Primjerice, mogu se provesti sljedeći testovi:

1. **Ispitivanje otpornosti namotaja:** Ovo ispitivanje provjerava otpor namotaja transformatora, koji bi trebao biti u skladu s nominalnim vrijednostima. Precizno mjerenje otpora namotaja ključno je za identificiranje mogućih problema sa zavojnicama transformatora, uključujući neispravne veze i pogreške u broju zavoja. Otpor namotaja može biti indikator mnogih problema, uključujući oksidaciju ili koroziju kontaktnih površina, što može dovesti do povećane temperature i smanjene učinkovitosti transformatora.
2. **Ispitivanje točnosti mjerenja:** Ispitivanje točnosti mjerenja provodi se kako bi se osiguralo da mjerni transformator točno reproducira ulazni signal na izlazu. U okviru ovog testa, primijenit će se poznati napon i struja na transformator, a zatim se mjere izlazni signali kako bi se usporedili s očekivanim vrijednostima. Ako su mjerenja unutar prihvatljivih tolerancija, transformator je točan. Inače, može biti potrebno kalibriranje ili popravak.
3. **Ispitivanje izolacije:** Ispitivanje izolacije provjerava izolacijski materijal u transformatoru kako bi se osiguralo da može podnijeti visoki napon bez propuštanja struje. Ovo je važno jer neispravna izolacija može dovesti do prekida struje između zavojnica ili između zavojnica i zemlje, što može rezultirati oštećenjem transformatora ili opasnim uvjetima rada.
4. **Ispitivanje napona:** Ispitivanje napona provjerava da mjerni transformator može podnijeti svoj nominalni radni napon bez oštećenja ili prekida. Ovo je važno jer transformator mora biti sposoban za pouzdano raditi u uvjetima koji su u skladu s njegovim specifikacijama.

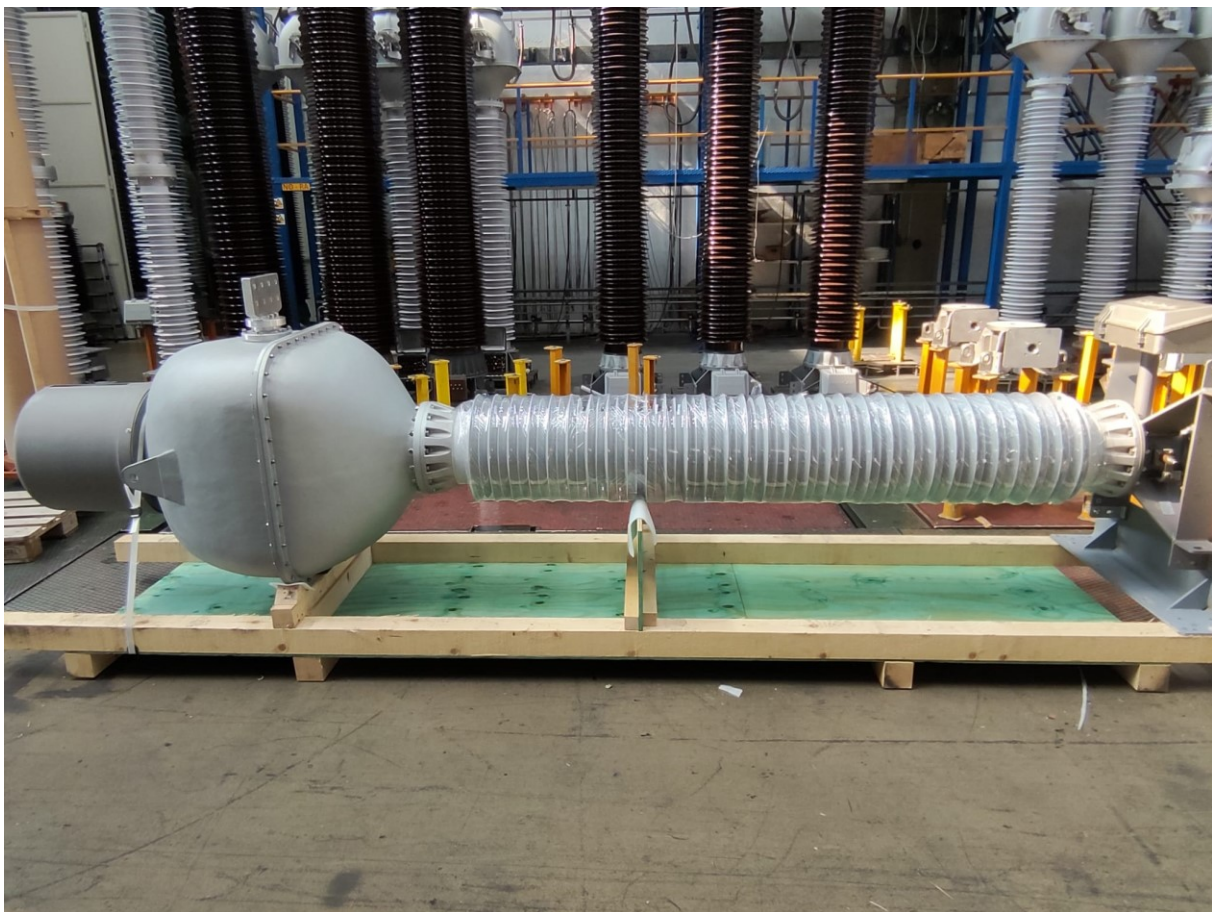
5. **Ispitivanje dielektrične snage transformatorskog ulja:** Transformatorsko ulje koristi se kao dielektrični medij u uljnim transformatorima. Ispitivanje dielektrične snage transformatorskog ulja provjerava njegovu sposobnost da podnese električno polje bez gubitka svojih izolacijskih svojstava. Ako ulje ne može podnijeti visoki električni napon bez propuštanja struje, to može ukazivati na zagađenje, starenje ili druge probleme s uljem. Tijekom ovog testa, ulje se obično stavlja u poseban ispitivač, a zatim se na njega primjenjuje visoki napon dok se ne dogodi proboj. Vrijednost napona pri kojem se dogodi proboj je dielektrična snaga ulja.

Proces dovršenja i pakiranja mjernih transformatora esencijalni je korak koji prethodi isporuci proizvoda. Ova faza uključuje posljednje kontrole kvalitete, osiguravajući da su proizvodi u optimalnom stanju i da zadovoljavaju sve standarde i specifikacije. Pakiranje je prilagođeno kako bi se osigurala sigurna dostava, uzimajući u obzir veličinu, težinu i osjetljivost proizvoda. Kroz ovaj proces, tvrtka pokazuje posvećenost visokim standardima kvalitete i zadovoljstvu kupaca, osiguravajući da svaki proizvod koji napusti proizvodni pogon zadovolji ili nadmaši očekivanja kupca. Proces se može podijeliti u nekoliko najbitnijih faza:

1. **Čišćenje i inspekcija:** Nakon što su transformatori prošli kroz ispitnu stanicu i sve testove, prvi korak je osigurati da su čisti i spremni za pakiranje. Ovo uključuje vizualni pregled da nema vidljivih oštećenja ili ostataka proizvodnje.
2. **Priprema za pakiranje:** Transformatori se zatim pripremaju za pakiranje. Ovisno o vrsti i veličini transformatora, mogu se pakirati pojedinačno ili u skupinama. Također, ovisno o zahtjevima kupca, mogu se koristiti različiti materijali za pakiranje poput ali za većinu transformatora koriste se drveni sanduci.
3. **Pakiranje:** Transformatori se zatim pakiraju u skladu s odabranim materijalima za pakiranje. Važno je osigurati da su dobro zaštićeni od potencijalnih oštećenja tijekom transporta.



4. **Označavanje i dokumentacija:** Svaki paket bi trebao biti jasno označen s informacijama o proizvodu i uputama za rukovanje. Također, potrebno je pripremiti svu potrebnu dokumentaciju za transport i isporuku, uključujući popise pakiranja, fakture, certifikate o ispitivanju i slično.
5. **Skladištenje i isporuka:** Pakirani transformatori se zatim pohranjuju u skladište do trenutka isporuke. Prilikom planiranja isporuke važno je osigurati siguran i učinkovit transport do kupca.



**Slika 3.10** Mjerni transformator u procesu pakiranja

### 3.2 Analiza proizvodnog procesa

Analiza proizvodnje mjernih transformatora iziskuje razumijevanje tehničkih, ekonomskih i industrijskih aspekata procesa. Ova analiza oslanja se na tri ključna kriterija: visinu naponskog nivoa, datuma proizvodnje te vrsta transformatora - strujni, naponski ili kombinirani.

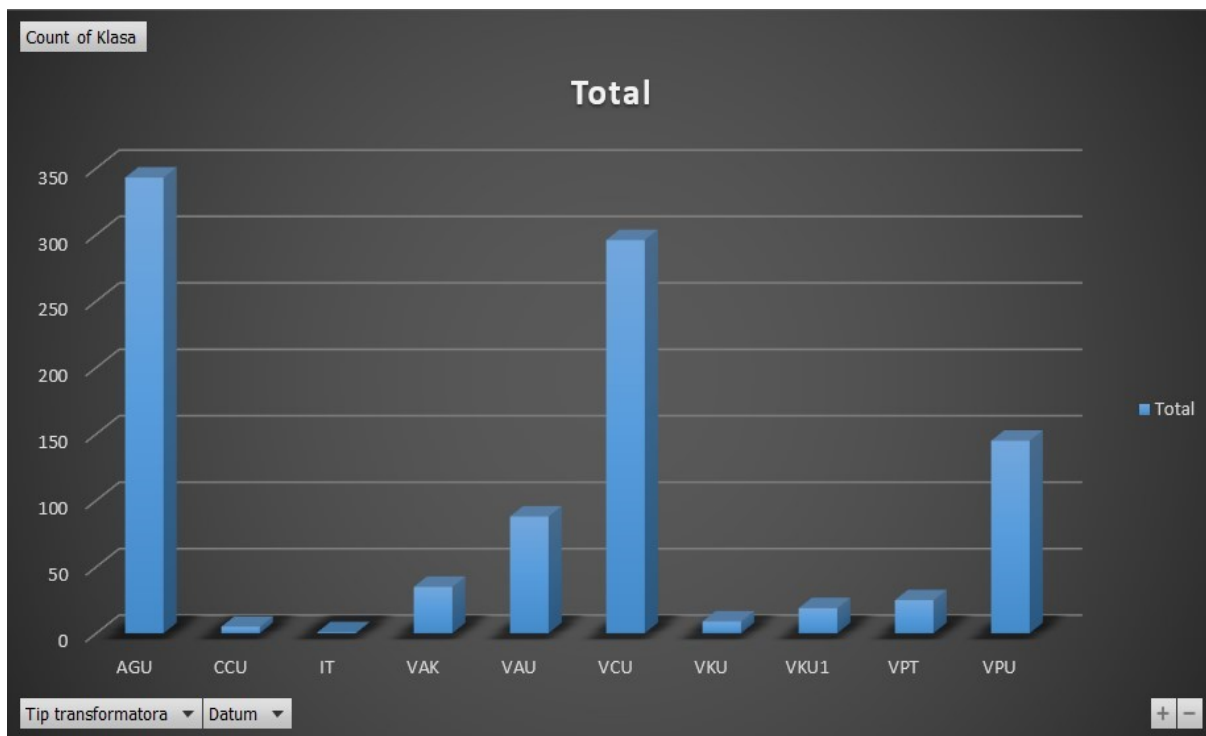
Visina naponskog nivoa je jedna od varijabli u proizvodnji mjernih transformatora koja određuje tehničke specifikacije i primjenu transformatora. Analiza podataka na temelju naponskog nivoa može pružiti vrijedne uvide u trendove proizvodnje i potražnje, kao i identificirati potencijalne prilike za poboljšanje procesa proizvodnje i dizajna proizvoda.

Datum proizvodnje je također jedan od parametara u području ove analize. Proučavanje povijesnih trendova proizvodnje može pomoći u identifikaciji sezonskih varijacija, promjena u potražnji i drugih uzoraka koji mogu utjecati na operativnu efikasnost i strategiju proizvodnje. S razumijevanjem ovih trendova, kompanija može bolje planirati svoje resurse i optimizirati proizvodne cikluse.

Vrsta transformatora - strujni, naponski ili kombinirani mogu dodatno definirati tehničke zahtjeve i aplikacije proizvoda. Analizom distribucije proizvodnje između ovih različitih vrsta transformatora, poduzeća mogu bolje razumjeti svoju proizvodnu strukturu, identificirati ključna područja za poboljšanje i potencijalne prilike za optimizaciju. Razumijevanje ovog aspekta ključno je za strategijsko planiranje i upravljanje proizvodnjom na učinkovit i održiv način.

U zaključku, sveobuhvatna analiza proizvodnje mjernih transformatora zahtijeva razumijevanje i razmatranje različitih varijabli - visine naponskog nivoa, datuma proizvodnje i vrste transformatora. Ovi faktori su međusobno povezani i utječu na tehničke specifikacije, primjenu proizvoda, proizvodne cikluse i operativnu efikasnost. Stoga je ključno analizirati ih zajedno kako bi se dobila cjelovita slika dinamike proizvodnje mjernih transformatora.

Na slici [Slika 3.11] prikazana je proizvodnja mjernih transformatora u prvom kvartalu 2023. godine.



Slika 3.11 Proizvodnja u prvom kvartalu 2023. godine

Transformatori su raspoređeni po vrsti, a oznake imaju sljedeća značenja:

AGU – uljni strujni mjerni transformatori

CCU – vezni kondenzatori i kapacitivni djelitelji napona

IT – ispitni transformatori

VAK – kombinirani kapacitivni mjerni transformatori

VAU – kombinirani uljni mjerni transformatori

VCU – kapacitivni naponski mjerni transformatori

VKU – naponski uljni transformatori – dvopolno izolirani

VKU1 – naponski uljni transformatori – jednopolno izolirani

VPT – naponski transformatori velike snage

VPU – dvopolno izolirani naponski transformatori

Proizvodnja transformatora po naponskim razinama često se koristi kao klasifikacijski kriterij u industriji. Naponska razina transformatora je ključni faktor koji određuje njegovu upotrebu, dimenzije, materijale i druge tehničke specifikacije. Uobičajeno, veći naponi zahtijevaju transformatorske materijale s većom dielektričnom čvrstoćom, većim dimenzijama i, posljedično, povećanim proizvodnim zahtjevima i troškovima. Na slici [Slika 3.4], lijevo vidimo naponske nivoe, a desno je prikazan broj proizvedenih transformatora.

Row Labels	Count of Klasa
+ 24	51
+ 30	1
+ 38	35
+ 52	64
+ 72.5	49
+ 123	191
+ 145	165
+ 170	31
+ 245	147
+ 362	54
+ 420	125
+ 525	53
<b>Grand Total</b>	<b>966</b>

Slika 3.12 Naponske razine mjernih transformatora koji se proizvode

S obzirom na veličinu transformatora, skladišni prostor također treba biti adekvatan za zaštitu transformatora od okolišnih utjecaja poput vode, vlage, prašine i drugih štetnih čimbenika. Također, skladište transformatora treba biti pravilno organizirano kako bi se osigurala efikasnost i lak pristup transformatorima u slučaju potrebe za održavanjem, servisiranjem ili transportom. U ovom radu uzet će se u obzir 4 vrste transformatora te još nekoliko naponskih nivoa. Za svaki od njih dani su gabariti te je izračunat volumen koji je kasnije pretvoren u kubične metre.



Prvo ispitivanje koje se provodi je ispitivanje naponskog nivoa transformatora. Takvo ispitivanje ključni je dio procesa provjere kvalitete mjernih transformatora. Ovaj postupak se provodi kako bi se osiguralo da transformator može izdržati određeni napon bez gubitka funkcionalnosti i sigurnosti.

Tijekom ispitivanja, transformator se podvrgava naponu koji je znatno viši od njegovog nominalnog napona rada. Ovo ispitivanje je poznato kao ispitivanje izdržljivosti prenapona i provodi se kako bi se osiguralo da transformator može izdržati kratkotrajne naponske skokove koji se mogu pojaviti u električnoj mreži.

Drugo ispitivanje koje slijedi je ispitivanje kapaciteta (izmjereno u pikofaradima, pF) i takozvanog kuta gubitaka ( $\text{tg}\alpha$ ). Oni su ključni za provjeru ispravnosti izolacijskog sustava transformatora. Kapacitet i  $\text{tg}(\alpha)$  su pokazatelji dielektričnih svojstava izolacijskog materijala transformatora, te se koriste za otkrivanje bilo kakvih pogrešaka ili propusta.

Mjerenje kapaciteta obuhvaća utvrđivanje vrijednosti električnog kapaciteta između dvije elektrode transformatora. U idealnom slučaju, ovaj bi kapacitet trebao ostati konstantan tijekom vremena. Značajne promjene u kapacitetu mogu ukazivati na probleme s izolacijom, poput vlažnosti ili oštećenja.

$\text{Tg}(\alpha)$ , ili tangens gubitničkog kuta, odnosi se na fazni pomak između struje i napona u izolacijskom materijalu. Kada izolacijski materijal funkcionira ispravno, ovaj kut bi trebao biti vrlo mali, jer bi većina električne energije trebala prolaziti kroz materijal bez gubitka. Ako je  $\text{tg}\alpha$  visok, to može ukazivati na prekomjerni gubitak energije kroz izolaciju, što može ukazivati na probleme poput starenja materijala, mehaničkih oštećenja ili prisutnosti nečistoća.

Mjerenje parcijalnih izbijanja (eng. *Partial Discharge* ili takozvano PD mjerenje) iznimno je važan dio procesa ispitivanja transformatora. Parcijalna izbijanja su kratkotrajni električni iskri između dva vodljiva dijela unutar izolacije, obično izazvani visokim električnim naponom. Ova izbijanja mogu uzrokovati postupno oštećenje izolacijskog materijala, što može dovesti do kvarova u radu transformatora. [22]

PD mjerenje pomaže u identifikaciji i kvantifikaciji parcijalnih izbijanja unutar transformatora. Ispitivanje se provodi priključivanjem transformatora na visokonaponski izvor te mjerenjem električnih impulsa koji prelaze kroz transformator. Ovi impulsi, ili 'izbijanja', registriraju se i analiziraju kako bi se utvrdila njihova učestalost i veličina. [22]

Otkrivanje i praćenje parcijalnih izbijanja omogućuje otkrivanje potencijalnih problema prije nego što dođe do ozbiljnijeg oštećenja ili kvara transformatora. To omogućuje pravovremenu intervenciju i produžava životni vijek transformatora. U Kompaniji Končar, ovo ispitivanje je integralni dio procesa ispitivanja kako bi se osigurala visoka kvaliteta i dugovječnost njihovih transformatora.

### 3.3 Prikaz i analiza procesa skladištenja

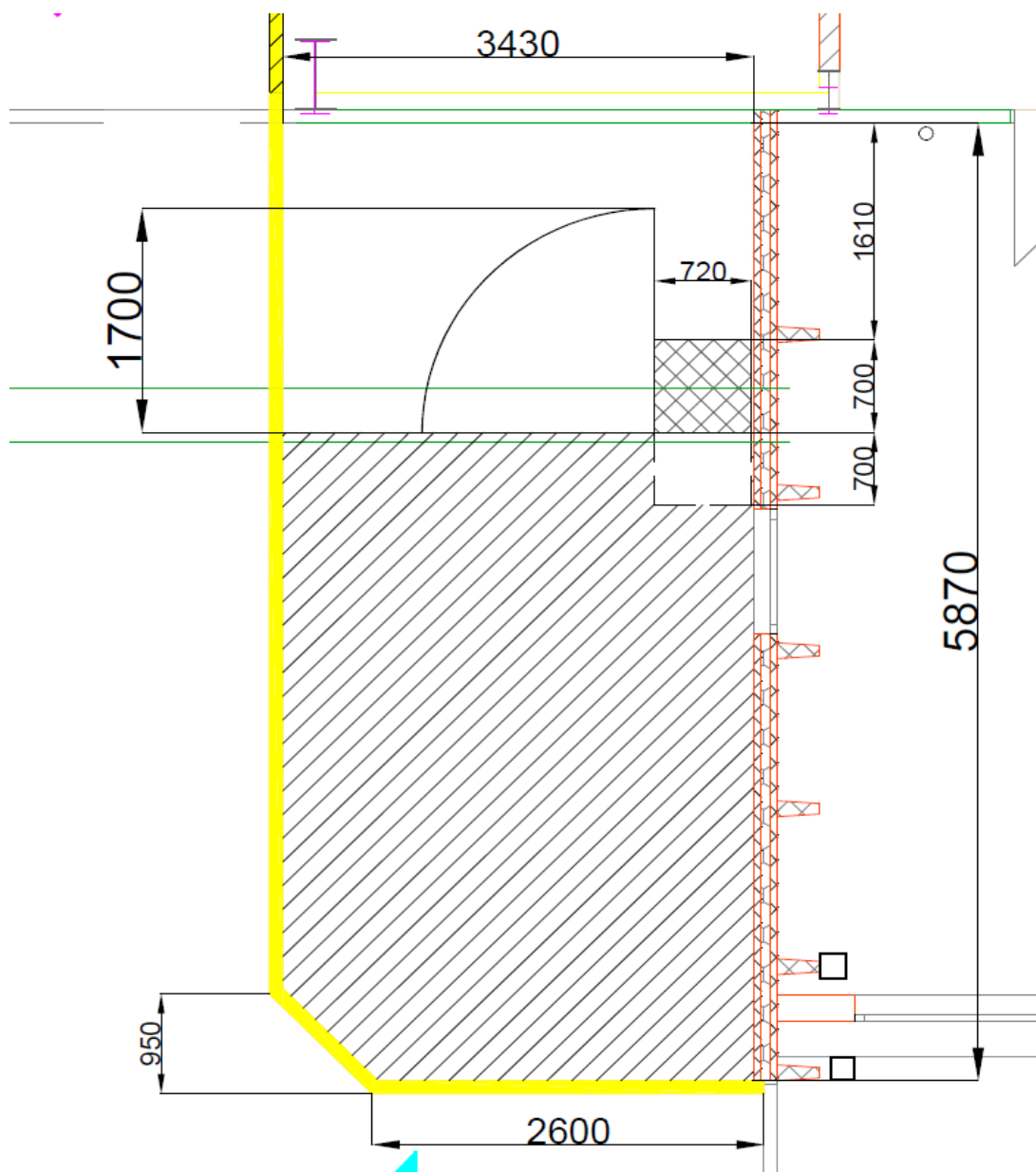
Proces skladištenja mjernih transformatora je ključna faza u našem operativnom ciklusu. Transformatori se skladište u našim unutarnjim prostorima nakon što su prošli kroz proces ispitivanja, a prije nego što budu upakirani za daljnju distribuciju.

Pojedinosti ovog procesa uključuju prijem, smještaj i upravljanje inventarom. Na početku, transformatori koji su uspješno prošli proces ispitivanja prenose se u unutarnje skladište. Svaki transformator je označen sa specifičnim podacima o modelu, seriji, datumu proizvodnje i ispitivanja, što nam omogućava točno praćenje svakog proizvoda. Dodatno, ukoliko je uspješno zadovoljio na svim potrebnim testovima, transformatoru se dodjeljuje zelena naljepnica na kojoj se naglašava da je mjerni transformator ispravan.

Dodatno može se reći da se unutarnji skladišni prostori se koriste za takozvano “čekanje“ nakon faze ispitivanja, a prije pakiranja. Posebno su zamišljeni za smještaj proizvoda koji su prošli sve faze proizvodnje i ispitivanja te su spremni za finalni proces pakiranja. Transformatori se pažljivo razvrstavaju i smještaju na odgovarajuće mjesto u skladištu, ovisno o planu isporuke.

Održavanje ispravne organizacije ovih prostora je ključno za učinkovito upravljanje tokom procesa pakiranja i otpreme. Također, ti prostori moraju biti u skladu s odgovarajućim sigurnosnim standardima kako bi se osigurala zaštita radnika i proizvoda.

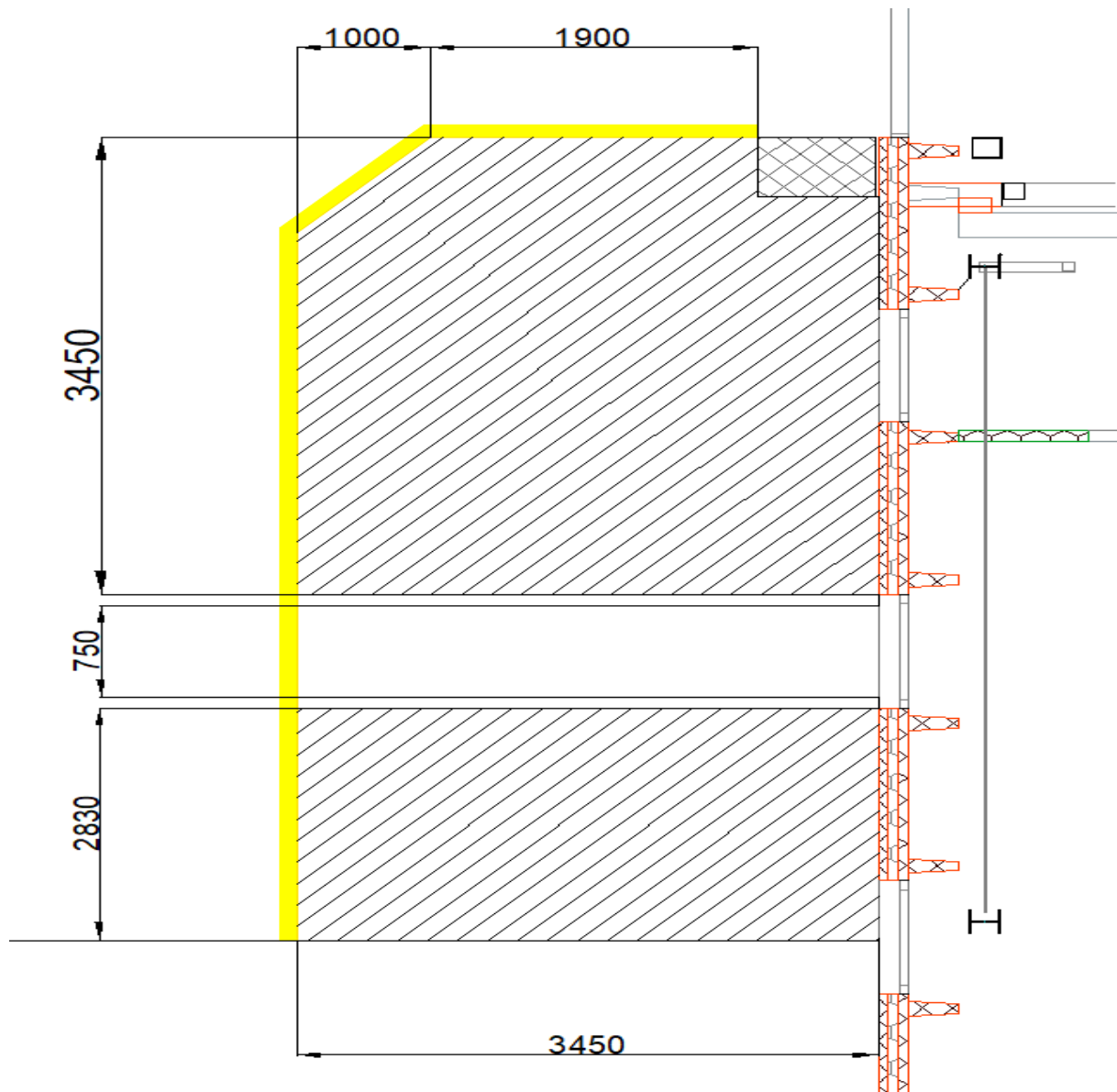
Sveukupno, naš proces skladištenja mjernih transformatora je osmišljen da osigura sigurno, učinkovito i transparentno upravljanje proizvodima od trenutka kada napuste postupak ispitivanja do trenutka kada se pripremaju za otpremu.



Slika 3.13 Skladišni prostor 1

Na slici [Slika 3.13] prikazana je površina koja se koristi za privremeno odlaganje transformatora. Površina označenog dijela iznosi  $11,74 \text{ m}^2$  te se on koristi za odlaganje, unutar sigurnosnih žutih crta. Na izračunatu površinu može se primijeniti faktor udjela transportne površine koji je u ovom slučaju odabran da iznosi  $0,7$  što znači da se  $70\%$  skladišne površine može efikasno iskoristiti. Koristit ćemo jednažbu (1):

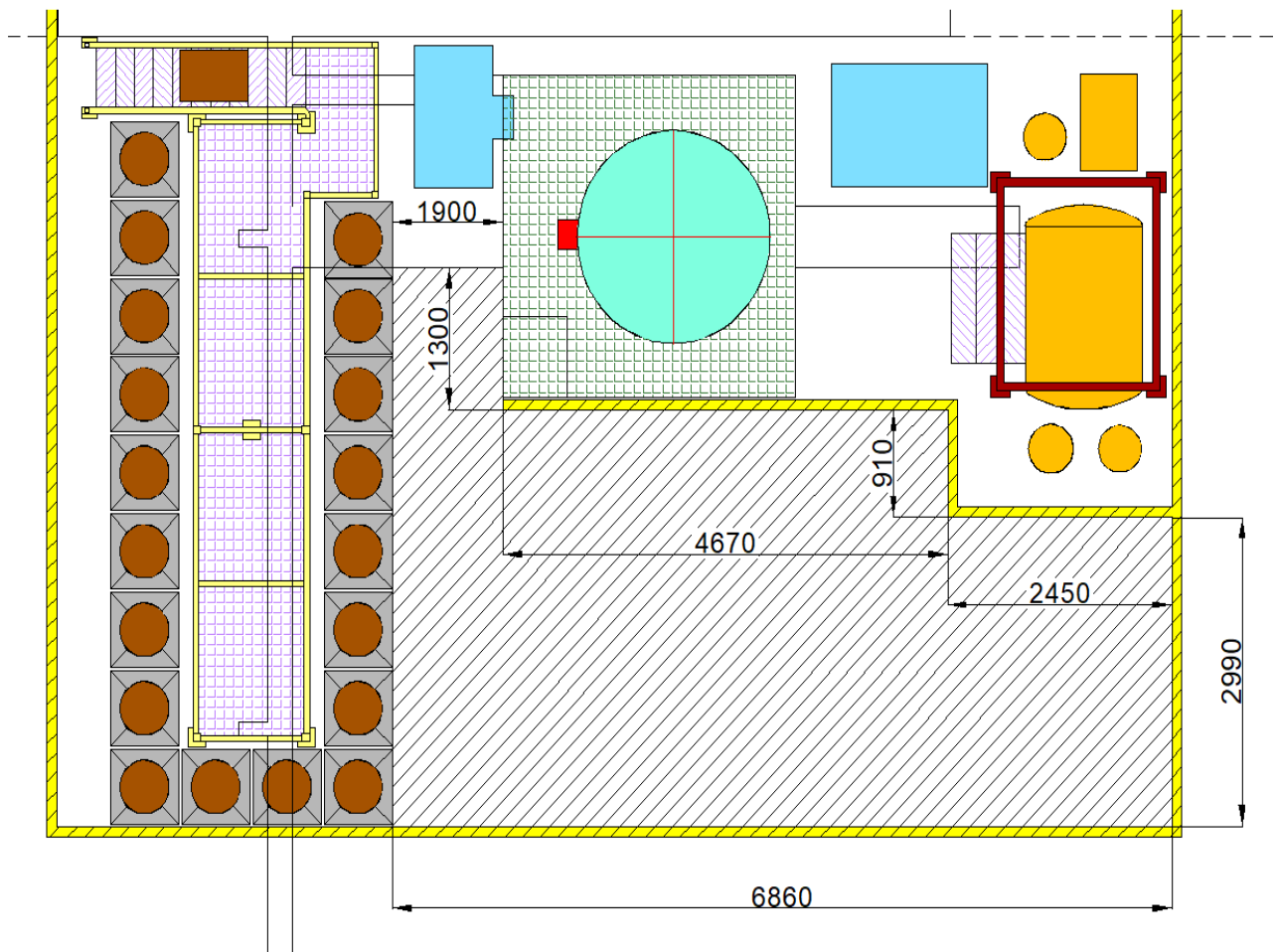
$$A_0 = f_0 \cdot A_T = 8,22 \text{ m}^2 \quad (1)$$



Slika 3.14 Skladišni prostor 2

Na slici [Slika 3.14] prikazana je površina koja se koristi za privremeno odlaganje transformatora. Površina označenog dijela iznosi 23,07 m<sup>2</sup> te se ona također koristi za odlaganje, unutar sigurnosnih žutih crta. Na izračunatu površinu opet se primjenjuje faktor udjela transportne površine koji je odabran da iznosi 0,7 što znači da se 70% skladišne površine može efikasno iskoristiti. Opet ćemo koristiti jednažbu (1):

$$A_0 = f_0 \cdot A_T = 16,49 \text{ m}^2 \quad (1)$$



Slika 3.15 Skladišni prostor 3

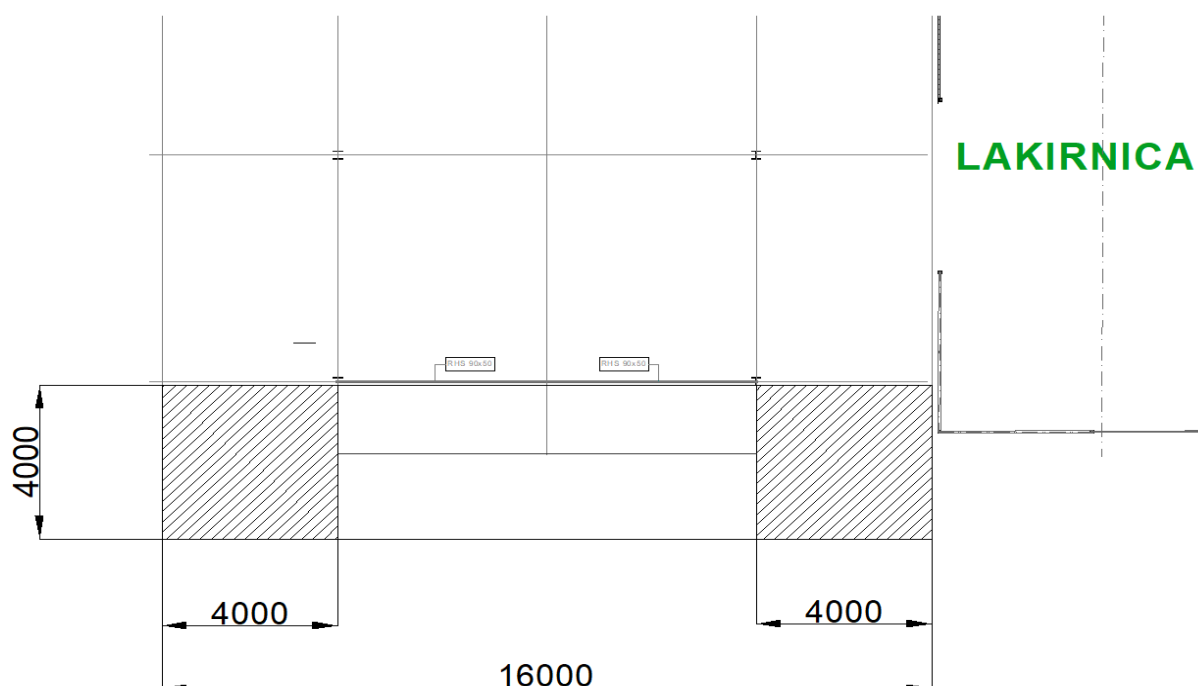
Na slici [Slika 3.15] prikazana je površina koja se koristi za privremeno odlaganje transformatora. Površina označenog dijela iznosi  $24,8 \text{ m}^2$ . Zanemaren je dio u gornjem lijevom kutu zbog toga što je manipulacija odloženih mjernih transformatora na tom dijelu izrazito teška i nedostupna. Na izračunatu površinu može se također primijeniti faktor udjela transportne površine koji je isto u ovom slučaju odabran da iznosi 0,7 što znači da se 70% skladišne površine može efikasno iskoristiti. Također, koristimo jednažbu (1):

$$A_0 = f_0 \cdot A_T = 17,36 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Vanjski skladišni prostori za mjerni transformatori u Končar - Mjerni transformatori predstavljaju ključnu komponentu u logistici kompanije. Nakon procesa pakiranja, mjerni transformatori se smještaju u robustne drvene sanduke i premještaju se na vanjska skladišna mjesta, koja su strateški smještena pored i iza pakirnice.

Ovi vanjski prostori su osmišljeni kako bi omogućili sigurnu i organiziranu pohranu sanduka s transformatorima dok čekaju daljnji transport. Svaki sanduk je jasno označen kako bi se olakšalo praćenje i upravljanje zalihama.

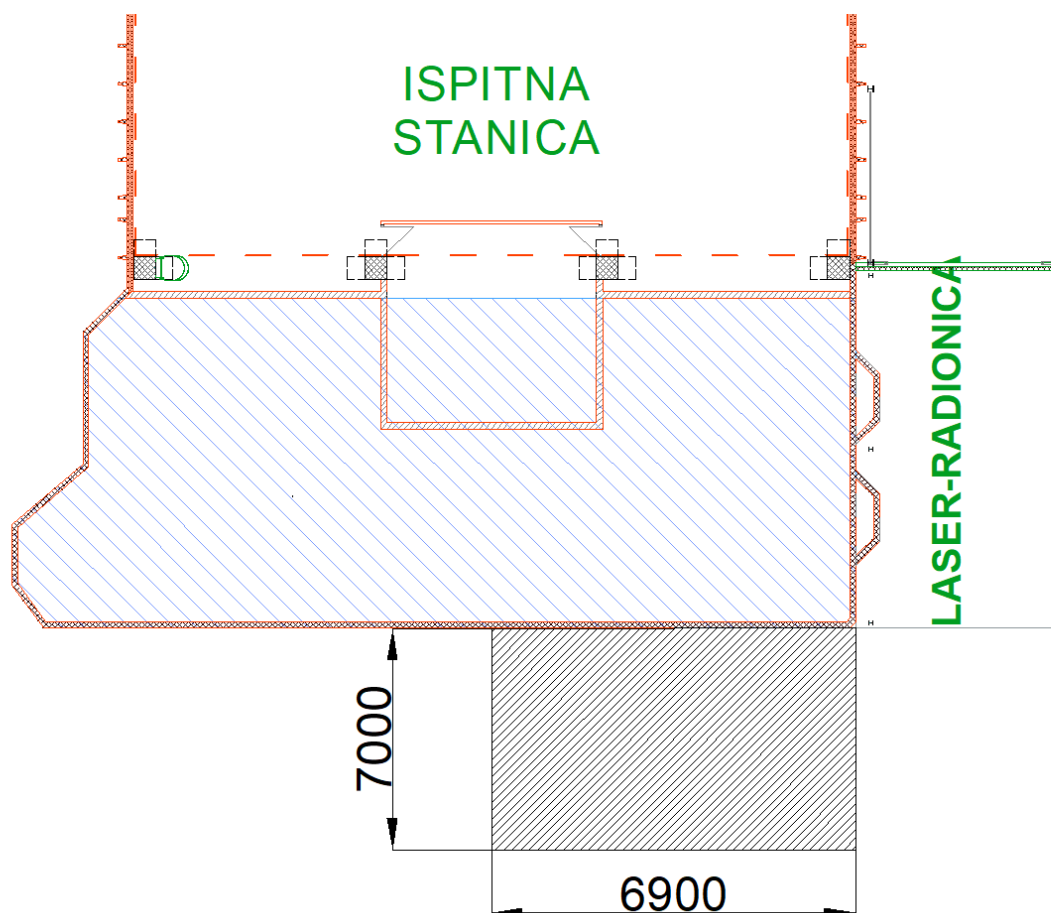
Veliki otvoreni prostor omogućuje jednostavan pristup za prijevozna sredstva, poput kamiona, što olakšava utovar i istovar. Također, vanjski skladišni prostori su osmišljeni da izdrže različite vremenske uvjete, čuvajući pritom sigurnost i integritet mjernih transformatora unutar sanduka.



Slika 3.16 Vanjski skladišni prostor 1

Vanjski skladišni prostor koji je prikazan na slici [Slika 3.16] ima ukupnu skladišnu površinu u iznosu od 32 m<sup>2</sup>. Takav prostor se nalazi nasuprot pakirnice te je djelomično natkriven te kao takav pruža zaštitu od vremenskih nepravilnosti.

Postoji i drugi vanjski skladišni prostor, koji se nalazi ispod ispitne stanice, on nije natkriven te se koristi kada su mjerni transformatori spremni za transport gotovo odmah ili kasnije toga dana budući da se proizvodi ne mogu zaštititi od vremenskih uvjeta nije prigodno da se zadržavaju duži vremenski period. Vanjski skladišni prostor koji se vidi na slici [Slika 3.17] površine je 48,3 m<sup>2</sup>.



Slika 3.17 Vanjski skladišni prostor 2



### 3.4 Identifikacija problema procesa manipulacije i skladištenja

Skladištenje je ključni dio operativne logistike svake proizvodne organizacije. Trenutno stanje skladištenja karakterizira dobro organizirana struktura kako unutarnjih, tako i vanjskih skladišnih prostora.

Unutarnja skladišta koriste se za privremeno čuvanje mjernih transformatora nakon ispitivanja i prije pakiranja kao što je već opisano. Vanjski skladišni prostori, s druge strane, koriste se za pohranu transformatora pakiranih u drvene sanduke, spremnih za isporuku. Ovi prostori su strateški smješteni pored i odmah iza mjesta gdje se mjerni transformatori pakiraju, omogućujući lagan pristup za utovar.

Trenutno stanje skladištenja pokazuje da je tvrtka uspostavila donekle učinkovit sustav za rukovanje svojim proizvodima, od faze ispitivanja do konačne isporuke. Za potrebnu optimizaciju potrebno je prvo prikazati trenutno stanje koje će zatim usporediti s prijedlozima rješenja za moguća poboljšanja odnosno optimizaciju. Na slici [Slika 3.10] prikazani su transformatori, strukturirani po vrstama te njihove ocjene na spomenutim testovima.

U procesu planiranja i optimizacije kapaciteta pakiranja, ključno je uzeti u obzir dimenzije proizvoda, odnosno mjernih transformatora. Za jednostavnost, ako pretpostavimo da svaki dan možemo pakirati transformatore koji ukupno zauzimaju približno 2 kvadratna metra, taj broj postaje naša dnevna referenca za kapacitet pakiranja.

Kapacitet skladišta također igra važnu ulogu u ovom procesu. Moramo uzeti u obzir da svakodnevno primamo određenu količinu novih transformatora. Ovaj konstantni priljev proizvoda bitno utječe na naš neto kapacitet skladišnih prostora.

Ova dinamika između dnevnog kapaciteta pakiranja i kapaciteta skladišta predstavlja izazov za učinkovito upravljanje logistikom. Zahtijeva precizno planiranje i prilagodbu kako bi se osiguralo da proces pakiranja teče glatko, dok se istovremeno optimizira iskoristivost skladišnog prostora.

Na slici [Slika 3.18] odabrani su mjerni transformatori koji se najčešće proizvode te njihove pripadajuće naponske razine. Jedna od glavnih karakteristika mjernih transformatora je njihova velika visina u usporedbi s drugim dimenzijama ali ona u ovom radu nije razmatrana previše. Budući da se svi transformatori skladište uspravno, visina ne igra ključnu ulogu nego je puno bitnija 2D površina odnosno dimenzija poput širine i duljine mjernog transformatora odnosno njegovog postolja.

Naponski nivo	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina(mm)	Površina (mm <sup>2</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
AGU - 420	5,420.00	843.00	836.00	704,748.00	0.70
AGU - 145	2,351.00	800.00	560.00	448,000.00	0.45
AGU - 123	3,100.00	902.00	450.00	405,900.00	0.41
AGU - 52	1,830.00	810.00	560.00	453,600.00	0.45
AGU - 24	2,315.00	730.00	560.00	408,800.00	0.41
VCU - 525	6,050.00	780.00	600.00	468,000.00	0.47
VCU - 362	5,000.00	780.00	600.00	468,000.00	0.47
VCU - 245	3,170.00	780.00	600.00	468,000.00	0.47
VPU - 72.5	2,010.00	580.00	400.00	232,000.00	0.23
VAU - 420	5,540.00	1,200.00	870.00	1,044,000.00	1.04
VAU - 123	2,660.00	940.00	650.00	611,000.00	0.61
VPU - 170	2,475.00	630.00	450.00	283,500.00	0.28
Prosječne veličine	3,493.42	814.58	594.67	499,629.00	0.50

**Slika 3.18 Najčešće proizvedeni mjerni transformatori u kompaniji**

Kada bi razmatrali i visinu mjernih transformatora, odnosno kada bi u skladišnom procesu bili dostupni odgovarajući skladišni regali tada bi volumen transformatora igrao značajnu ulogu, odnosno njegova visina bila bi presudna. U okviru ovog rada zadržat ćemo se samo na površinama te na kraju spomenuti mogućnosti optimizacije putem skladišnih regala.

U slijedećem dijelu napravljena je analiza mjernih transformatora kroz pet radnih dana. Podatci su uzeti iz ispitne stanice, odnosno da li su mjerni transformatori zadovoljili sva potrebna ispitivanja te dobili zelenu naljepnicu (eng. *Quality Inspected*). Ukoliko su svi parametri zadovoljeni može se krenuti s idućim korakom, a to je računanje površina koji svaki transformator zauzima te odlaganje na njegovo skladišno mjesto prije procesa pakiranja. Pakiranje je proces koji je dosta varijabilan te ovisi o puno faktora, poput veličine transformatora, dostupne radne snage i slično. Izračunato je da se dnevno uspješno zapakira 15,9 transformatora što pomnoženo s prosječnom površinom iznosi 7,95 m<sup>2</sup>. Zaključujemo da se svaki dan oslobodi 7,95 m<sup>2</sup> skladišne površine zbog procesa pakiranja.

Na slici [Slika 3.19] prikazani su svi uspješno ispitani mjerni transformatori prvi dan. Na slici je prikazan tip transformatora, njegov naponski nivo te tri ispitivanja koja transformator mora zadovoljiti kako bi krenuo na slijedeći proces odnosno proces pakiranja.

Tip transformatora	N.N	N.N Ispitivanje	Mjerenje kapaciteta (pF) i tg( $\alpha$ )	Mjerenje parcijalnih izbijanja	Klasa
AGU	420	+	+	+	+
AGU	420	+	+	+	+
AGU	420	+	+	+	+
AGU	420	+	+	+	+
AGU	420	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
VCU	245	+	+	+	+
VCU	245	+	+	+	+
VCU	245	+	+	+	+
VCU	245	+	+	+	+
VCU	245	+	+	-	-
VCU	245	+	+	+	+
VCU	245	+	+	+	+
VAK	38		+	+	+

Slika 3.19 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 1

Za svaki od spomenutih transformatora gabaritne dimenzije te ukupni volumen biti će prikazan u tablici.

Tablica 3. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 1

Vrsta	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
AGU – 420	5420	843	836	3.82	0.70
AGU – 145	2351	800	560	1.05	0.45
VCU – 245	3170	780	600	1.48	0.47
VAK – 38	2010	580	400	0.46	0.23

Sa slike [Slika 3.19] vidljivo je da transformatora pod nazivom „VCU - 245“ ima zapravo 7 ali jedan od njih nije zadovoljio treće ispitivanje odnosno na mjerenju parcijalnih ispitivanja dobio je negativnu ocjenu. To znači da se on vraća na dodatni pregled i moguću doradu te se neće razmatrati dalje u fazi pakiranja.

**Tablica 4. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 1**

Vrsta	Jedinična površina (m <sup>2</sup> )	Komada	Ukupna površina (m <sup>2</sup> )
AGU – 420	0,70	5	3.5
AGU – 145	0,45	8	3.6
VCU – 245	0,47	6	2.82
VAK – 38	0,23	1	0.23

Ukupna površina transformatora koji su ispitani te su zadovoljili uvjete iznosi 10,15 m<sup>2</sup>. Vidljivo je da će se iskoristiti “Skladišni prostor – 1“ za svih 5 komada transformatora AGU – 420, za svih 8 komada transformatora AGU – 145 te ostaje dovoljno prostora za dva komada transformatora VCU – 245. Time ostaje slobodno 0,18 m<sup>2</sup>. Odlučeno je da će se dalje koristiti „Skladišni prostor – 2“ za daljnje potrebe skladištenja mjernih transformatora koji su uspješno ispitani u tom danu.

Već je spomenuto da prosječni kapacitet pakiranja iznosi gotovo 16 transformatora. Kada se uzme u obzir prosječna površina jednog transformatora dobiva se da se dnevno može osloboditi 7,95 m<sup>2</sup> površine za smještaj novih mjernih transformatora.

Ukoliko pretpostavimo da su mjerni transformatori isti dan spremni za proces pakiranja onda se nužno mora uzeti u obzir “nova“ površina koja je ostala oslobođena. Jednostavnom računicom dobiva se da nakon prvog dana ostaje slobodno 6,02 m<sup>2</sup> od “Skladišnog prostora – 1“ koji će se iskoristiti za smještaj transformatora koji će biti ispitani idući dan.

Na slici [Slika 3.20] također su prikazani mjerni transformatori, strukturirani po vrstama te njihove ocjene odnosno da li su zadovoljili na spomenutim testovima.

Tip transformatora	N.N	N.N Ispitivanje	Mjerenje kapaciteta (pF) i tg( $\alpha$ )	Mjerenje parcijalnih izbijanja	Klasa
AGU	420	+	+	+	+
AGU	420	+	+	+	+
AGU	420	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	145	+	+	+	+
AGU	123	+	+	+	+
AGU	123	+	+	+	+
AGU	72.5	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VCU	145	+	+	+	+
VAK	38		+	+	+
VAK	38		+	+	+
VAK	38		+	+	+
VAK	38		+	+	+
VAK	38		+	+	+
VAK	38		+	+	+

**Slika 3.20 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 2**

Za razliku od prošlog primjera vidljivo je da je ovaj put puno više mjernih transformatora uspješno ispitano u ispitnoj stanici. Dolazimo do zaključka da se svaki dan ne ispita jednak broj mjernih transformatora te to uvelike ovisi od dosta faktora. Primjerice, o vrsti transformatora, njihovim veličinama, koliko je teško manipulirati sa samim transformatorom, koliko radnika je dostupno za rad u ispitnoj stanici i slično.

Za svaki od spomenutih transformatora gabaritne dimenzije te ukupni volumen biti će prikazan u tablici [Tablica 5].

**Tablica 5. Dimenzije i vrste tranformatora - Dan 2**

Vrsta	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
AGU – 420	5420	843	836	3,82	0,70
AGU – 145	2351	800	560	1,05	0,45
AGU – 123	3100	902	450	1,26	0,41
AGU – 72,5	2350	850	560	1,12	0,48
VCU – 145	3170	780	600	1,48	0,47
VAK – 38	2010	580	400	0,46	0,23

Sa slike [Slika 3.20] vidljivo je da su svi mjerni transformatori ispitani taj dan uspješno zadovoljili sve testove te ulaze u razmatranje ove analize. Budući da su transformatori uspješno prošli sve testove spremni su za proces pakiranja.

**Tablica 6. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 2**

Vrsta	Jedinična površina	Komada	Ukupna površina
AGU – 420	0,70	3	2,1
AGU – 145	0,45	4	1,8
AGU – 123	1,26	2	2,52
AGU – 72,5	0,48	1	0,48
VCU – 145	0,47	12	5,64
VAK – 38	0,23	6	1,38

Ukupna površina mjernih transformatora koji su ispitani te su zadovoljili uvjete iznosi 13,92 m<sup>2</sup>. Vidljivo je da će se iskoristiti “Skladišni prostor – 1“, odnosno njegovih 6,02 m<sup>2</sup> te ostaje razlika koja iznosi 0,05 m<sup>2</sup> (kada se također uzme u obzir i mogućnost pakiranja za taj dan). Odlučeno je da će se dalje iskoristiti “Skladišni prostor – 2“ budući da je kapacitet “Skladišnog prostora – 1“ ispunjen u potpunosti.



Treće, ljudski faktor također igra ulogu. Promjene u radnoj snazi, kao što su godišnji odmori, bolovanja ili obuke, mogu utjecati na broj osoblja dostupnih za ispitivanje transformatora. Za svaki od spomenutih transformatora gabaritne dimenzije te ukupni volumen biti će prikazan u tablici.

**Tablica 7. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 3**

Vrsta	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
AGU – 420	5420	843	836	3,82	0,70
VCU – 525	6050	780	600	2,83	0,47
VCU – 362	5000	780	600	2,34	0,47
VCU – 245	3170	780	600	1,48	0,47

Sa slike [Slika 3.21] vidljivo je da transformatora pod nazivom “VCU - 245“ ima zapravo 11 ali jedan od njih nije zadovoljio treće ispitivanje odnosno na mjerenju parcijalnih ispitivanja dobio je negativnu ocjenu. To znači da se on vraća na dodatni pregled i moguću doradu te se neće razmatrati dalje u fazi pakiranja.

**Tablica 8. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 3**

Vrsta	Jedinična površina	Komada	Ukupna površina
AGU – 420	0,70	1	0,7
VCU – 525	0,47	10	4,7
VCU – 362	0,47	3	1,41
VCU – 245	0,47	24	11,28

Ukupna površina mjernih transformatora koji su ispitani treći dan, a da su ujedno i zadovoljili uvjete iznosi 18,09 m<sup>2</sup>. Kao što je već prije naglašeno iskoristit će se “Skladišni prostor – 2“ te kada se uzme u obzir proces i mogućnosti pakiranja dobiva se da ostaje slobodno 6,35 m<sup>2</sup>. Ostala površina koja je ostala slobodna u iznosu od 10,14 m<sup>2</sup> iskoristit će se za mjerne transformatore koji će biti uspješno ispitani u narednom danu.





Za svaki od spomenutih transformatora gabaritne dimenzije te ukupni volumen biti će prikazan u tablici.

**Tablica 9. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 4**

Vrsta	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
AGU – 420	5420	843	836	3,82	0,70
VPU – 170	2475	630	450	0,70	0,28
VCU – 245	3170	780	600	1,48	0,47

Sa slike [Slika 3.22] vidljivo je da su svi mjerni transformatori uspješno ispitani taj dan. Zanimljiva je razlika što su prethodna tri dana bili zabilježene greške u testovima, a ovo je prvi put da su svi uspješno prošli sve testove te su kao takvi spremni za postupak pakiranja i dostave kupcima.

**Tablica 10 Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 4**

Vrsta	Jedinična površina	Komada	Ukupna površina
AGU – 420	0,70	10	7
VPU – 170	0,28	6	1,70
VCU – 245	0,47	15	7,05

Ukupna površina mjernih transformatora koji su ispitani četvrti dan iznosi 15,75 m<sup>2</sup>. Iskoristit će se “Skladišni prostor – 2“ odnosno velika većina njegovih kapaciteta. Kada se opet uzme u obzir dnevni kapacitet pakiranja te svi mjerni transformatori koji su ispitani četvrti dan dobivamo da ostane slobodno 2,34 m<sup>2</sup> površine koja je i dalje raspoloživa za smještaj novih, ispravnih mjernih transformatora.

Na slici [Slika 3.23] prikazani su transformatori, strukturirani po vrstama te njihove ocjene na spomenutim testovima.

Tip transformatora	N.N	N.N Ispitivanje	Mjerenje kapaciteta (pF) i tg( $\alpha$ )	Mjerenje parcijalnih izbivanja	Klasa
VPU	170	+	+	+	+
VPU	170	+	+	+	+
VPU	170	+	+	+	+
VPU	170	+	+	+	+
VPU	170	+	+	+	+
VPU	170	+	+	+	+
VPU	170	+	+	+	+
VCU	525	+	+	+	+
VCU	525	+	+	+	+

**Slika 3.23 Prikaz ispitanih mjernih transformatora - Dan 5**

Sa slike [Slika 3.23] vidljivo je da su svi mjerni transformatori uspješno ispitani taj dan kao i dan prije. Zbog toga svi će se uzeti u razmatranje budući da nema dodatnih popravaka te su svi mjerni transformatori spremni za proces pakiranja. Za svaki od ispitanih mjernih transformatora na “Dan – 5“ gabaritne dimenzije te ukupni volumen bit će prikazani u tablici [Tablica 11].

**Tablica 11. Dimenzije i vrste transformatora - Dan 5**

Vrsta	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
VPU – 170	2475	630	450	0,70	0,28
VCU – 525	6050	780	600	2,83	0,47

Kada se uzme u obzir ukupna površina svih ispitanih mjernih transformatora u petom danu te se također u obzir obuhvati i kapacitet pakiranja dobiva se da „Skladišni prostor – 2“ ostaje djelomično neispunjen, točnije ostaje 7,65 m<sup>2</sup> za daljnji privremeni smještaj mjernih transformatora.

**Tablica 12. Količina ispitanih mjernih transformatora - Dan 5**

Vrsta	Jedinična površina	Komada	Ukupna površina
VPU – 170	0,28	6	1,70
VCU – 525	0,47	2	0,94

Iz prethodne analize vidljivo je da se skladišni kapaciteti iz dana u dan smanjuju. Primjer od pet dana je uzet kao referentni primjer gdje se prikazuje ovisnost skladišnog prostora u vremenu. Iako je „Skladišni prostor – 3“ ostao skroz prazan te u potpunosti neiskorišten za sad, ukoliko bi pratili ovaj model kroz nekoliko dana ispunio bi se i „Skladišni prostor – 3“ što bi dovelo potpunog punjenja skladišnih kapaciteta. U praksi se naravno tako nešto i događa te se onda koriste razne pomoćne površine kojima jedinstvena svrha nije skladištenje mjernih transformatora. Na slici [Slika 3.24] prikazana je ovisnost skladišnog prostora u vremenu u kojem je provedeno ispitivanje, od početka, do kraja petog dana.



**Slika 3.24 Dostupna skladišna površina u ovisnosti o vremenu**

Vidljivo je da se dostupna skladišna površina smanjuje kroz vrijeme. Svakim danom sve je manje dostupnog prostora za skladištenje mjernih transformatora. Može se uočiti i jedna iznimka između četvrtog i petog dana kada dolazi do porasta skladišnog kapaciteta. Budući da je peti dan uspješno ispitano jako malo transformatora došlo je do obrnutog slučaja, puno više transformatora se uspješno otpremilo te je neto razlika bila pozitivna. Takav slučaj je iznimka, a ne pravilo te je u većini drugih slučajeva, kao što je i vidljivo, neto razlika negativna, odnosno dolazi do smanjenja skladišnih kapaciteta. Iako nakon petog dana i dalje ima raspoloživog skladišnog prostora, kada bi se provodila daljnja analiza pokazalo bi se da bi u kratkom vremenskom roku dostupni skladišni prostor popunio.

Iz prethodnih analiza vidimo da su najveći problemi nedostatak skladišnog prostora te smanjeni kapacitet pakiranja kada se uspoređi s proizvodnjom.

Upravljanje skladišnim prostorom je ključan aspekt svake proizvodne operacije, a posebno se ističe u proizvodnji mjernih transformatora gdje su specifičnosti proizvoda i složenost procesa posebno izraženi te nije lako postići jedno glavno rješenje zbog kompleksnosti samog procesa.

Nedostatak skladišnog prostora može stvoriti niz izazova. Na prvom mjestu, pretrpanost skladišta može ozbiljno otežati pristup proizvodima. Pravilno skladištenje proizvoda nužno je za održavanje efikasne proizvodnje, distribucije i isporuke. Kad je skladišni prostor pretrpan, pristup proizvodima se otežava, što usporava proces isporuke i povećava rizik od kašnjenja.

Zatim se javlja problem praćenja proizvoda. Ako je skladišni prostor pretrpan, izuzetno je teško točno odrediti koje proizvode skladište sadrži, u kojim količinama te gdje se točno nalaze. Takvo stanje otežava upravljanje zalihama, povećava vjerojatnost grešaka u isporuci te općenito smanjuje efikasnost operacija.

Ključno je uspostaviti strategije upravljanja prostorom koje mogu osigurati optimalno korištenje dostupnog skladišnog prostora i minimizirati negativne posljedice pretrpanosti. Ovo može uključivati preuređenje skladišnog prostora, poboljšanje procesa inventure, ili ulaganje u naprednije sustave za upravljanje zalihama. Kroz pravilno upravljanje skladišnim prostorom, tvrtka može smanjiti troškove, poboljšati kvalitetu isporuke te u konačnici kao rezultat toga povećati svoju konkurentsku prednost.

Drugi problem koji se javlja je neefikasna organizacija skladišta koja je često nevidljiva ali značajna prepreka u lancima opskrbe. Loša organizacija skladišta uvelike smanjuje produktivnost i efikasnost, povećava vrijeme potrebno za pronalaženje i premještanje proizvoda unutar skladišta. To je osobito slučaj ovdje gdje imamo proizvodnju mjernih transformatora, gdje su preciznost i brzina mogu biti ključni faktori uspjeha.

Skladište je živući ekosustav u kojem se različite stavke neprestano kreću i mijenjaju. Postavljanje stalnog, dobro osmišljenog sustava za organizaciju proizvoda može značajno poboljšati efikasnost. Ovaj sustav bi mogao uključivati jasne oznake, detaljne mape skladišta, a možda i investiciju u tehnologiju poput sustava upravljanja skladištem (WMS) koji može automatski pratiti i ažurirati lokacije proizvoda.

Osim toga, neefikasna organizacija skladišta dovodi do povećanih troškova, budući da zaposlenici troše više vremena na traženje proizvoda, a manje na druge produktivne zadatke. Loše postavljeni proizvodi također mogu povećati rizik od oštećenja, što može rezultirati dodatnim troškovima.

Stoga, kako bi se riješili problemi povezani s neefikasnom organizacijom skladišta, tvrtke trebaju preispitati svoje trenutne procese, razmotriti mogućnost ulaganja u nove tehnologije, i stvoriti sustave koji podržavaju efikasno, logično i sigurno skladištenje. U idućem poglavlju glavna tema biti će optimizacija unutarnjeg skladištenja i manipuliranja.

## 4. OPTIMIZACIJA PROCESA UNUTARNJEG MANIPULIRANJA

### 4.1 Optimizacija skladištenja – prijedlog rješenja

Iz poglavlja tri uočena su dva glavna problema koja se javljaju prilikom procesa unutarnjeg skladištenja i manipuliranja. Prvi problem koji se javlja je taj što postoji veći kapacitet proizvodnje od kapaciteta pakirnice, odnosno, puno je veća količina mjernih transformatora proizvedenih u danu nego količina mjernih transformatora koja se može pakirati u jednom danu. Samim time dolazi do takozvanog uskog grla u procesu pakiranja. Drugi problem je nedostatak unutarnjeg skladišnog prostora, što je također prikazano primjerom u poglavlju tri. Kao jedno od rješenja nudi se povećanje skladišnog prostora kako se pomoćne površine koje prvenstveno služe za druge svrhe ne bi koristile za proces unutarnjeg skladištenja. Za prvi problem se nudi slijedeće rješenje:

Prvi prijedlog: Smanjenje vremena pripreme (pakiranja i manipuliranja).

U kontekstu mjernih transformatora, vremenski period od uspješno testiranih mjernih transformatora do trenutka kada se proizvod stavi na vanjsko skladište može imati značajan utjecaj na efikasnost skladištenja. Ako je ovo vrijeme preveliko kao u našem slučaju može doći do neefikasnog korištenja prostora i do uskog grla (eng. *bottle neck*) koje se javlja u procesu pakiranja. Razlog toga je je jednostavan, kapacitet proizvodnje je puno veći od kapaciteta pakiranja.

Optimizacijom procesa pakiranja i pripreme, ovo vrijeme se može znatno smanjiti. Na primjer, može se razmisliti o implementaciji automatiziranih pakirnih linija, korištenju boljih alata za pakiranje, pružanju dodatne obuke osoblju za pakiranje ili čak izmjeni rasporeda rada kako bi se osiguralo da je dovoljno osoblja dostupno u ključnim vremenima.



U kontekstu drugog problema, odnosno nedostatka skladišne površine predlaže se i drugo rješenje:

Drugi prijedlog: Povećanje skladišnog prostora - smanjiti utjecaj nedostatka skladišnog prostora.

S druge strane, imamo rješenje koje se zasniva na povećanju skladišnih prostora za mjerne transformatore. To uključuje fizičko proširenje postojećeg skladišta, izgradnju novog skladišta ili razmještaj drugih skladišnih površina kako bi se ostvarile dodatne skladišne površine. Međutim, proširenje skladišta ili izgradnja istog sigurno donosi dodatne troškove, poput spomenutih troškova izgradnje, održavanja i logistike.

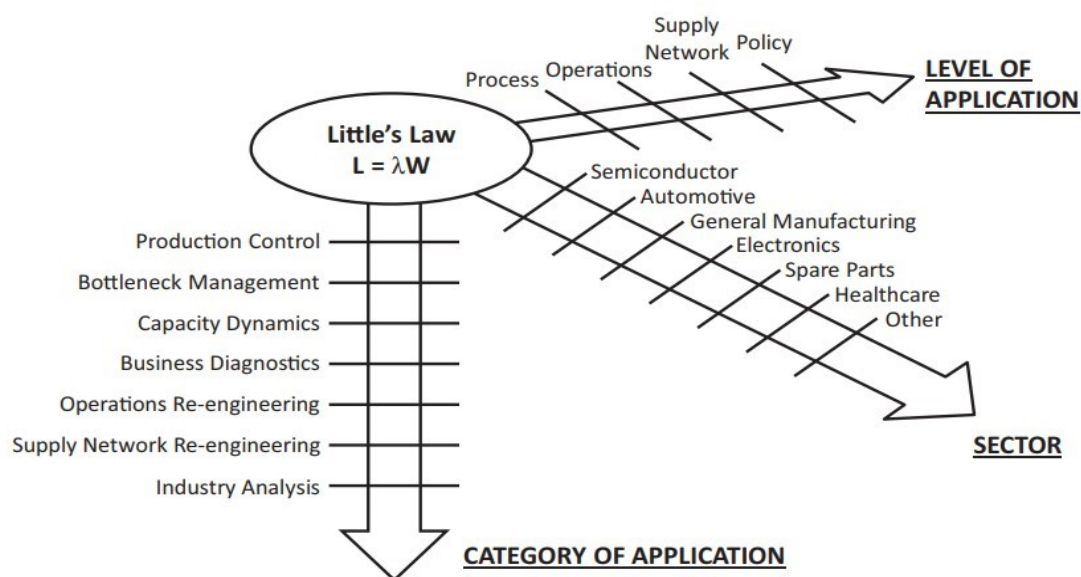
Kod daljnje analize problema i optimizacije koristit će se takozvani Little's Law. Ovaj zakon je temeljni princip u teoriji čekanja te predstavlja kamen temeljac za analizu performansi u mnogim područjima kao što su proizvodnja, logistika, IT usluge te mnogobrojne druge industrije. [23]

Ovaj zakon je prvi put formulirao John D.C. Little 1961. godine. Little-ov zakon povezuje tri varijable koje opisuju bilo koji proces: broj jedinica u procesu ( $L$ ), stopu dolaska jedinica u proces ( $\lambda$ ) i prosječno vrijeme koje jedinica provodi u procesu ( $W$ ). Prema Little-vom zakonu, za stabilan proces vrijedi slijedeća matematička poveznica koja je prikazana jednadžbom (2):

$$L = \lambda W \quad (2)$$

Jedan od ključnih aspekata zakona je da se on može primijeniti na širok spektar procesa, bez obzira na to jesu li procesi stabilni ili nestabilni, ili jesu li vremena čekanja predvidljiva ili nepredvidljiva.

Spomenuti zakon služi kao temeljni alat za analizu i optimizaciju procesa, a njegova primjena je razna, od planiranja kapaciteta u proizvodnji do optimizacije radnog opterećenja u IT servisima, analize prometa i mnogo drugih problema. U kontekstu skladištenja i logistike, Little-ov zakon nam može pomoći u razumijevanju i optimizaciji protoka robe, osoblja i vozila. Zakon također ima široku primjenu u operacijskim istraživanjima, s obzirom da pruža snažan alat za modeliranje i analizu procesa u različitim sektorima. Na slici [Slika 4.1] prikazano je područje djelovanja spomenutog zakona. [23] Donja strelica pokazuje kategorije gdje se primjenjuje, to su kontrola proizvodnje, usko grlo, dinamični kapaciteti, inverzibilno inženjerstvo u području operacija i logističkog lanca te u industrijskoj analizi. Sektori u kojima je to primjenjivo su mnogi, primjerice, poluvodiči, automobilska industrija, općenito u proizvodnji, elektronika, rezervni dijelovi, zdravstvo i mnogi drugi. Razine u kojima se može primijeniti vidimo na strelici udesno, primjerice u procesima, operacijama, opskrbnim lancima i tako dalje.



Slika 4.1 Little's Law - primjeri uporabe [24]

Kada govorimo o matematičkom zapisu, postoje tri varijable koje se moraju definirati:

Broj jedinica (L): Ovaj termin predstavlja ukupan broj mjernih transformatora koji su trenutno unutar sustava i čekaju na proces pakiranja.

Stopa dolaska ( $\lambda$ ): Stopa dolaska odnosi se na brzinu kojom jedinice ulaze u sustav odnosno u našem slučaju mjerni transformatori.

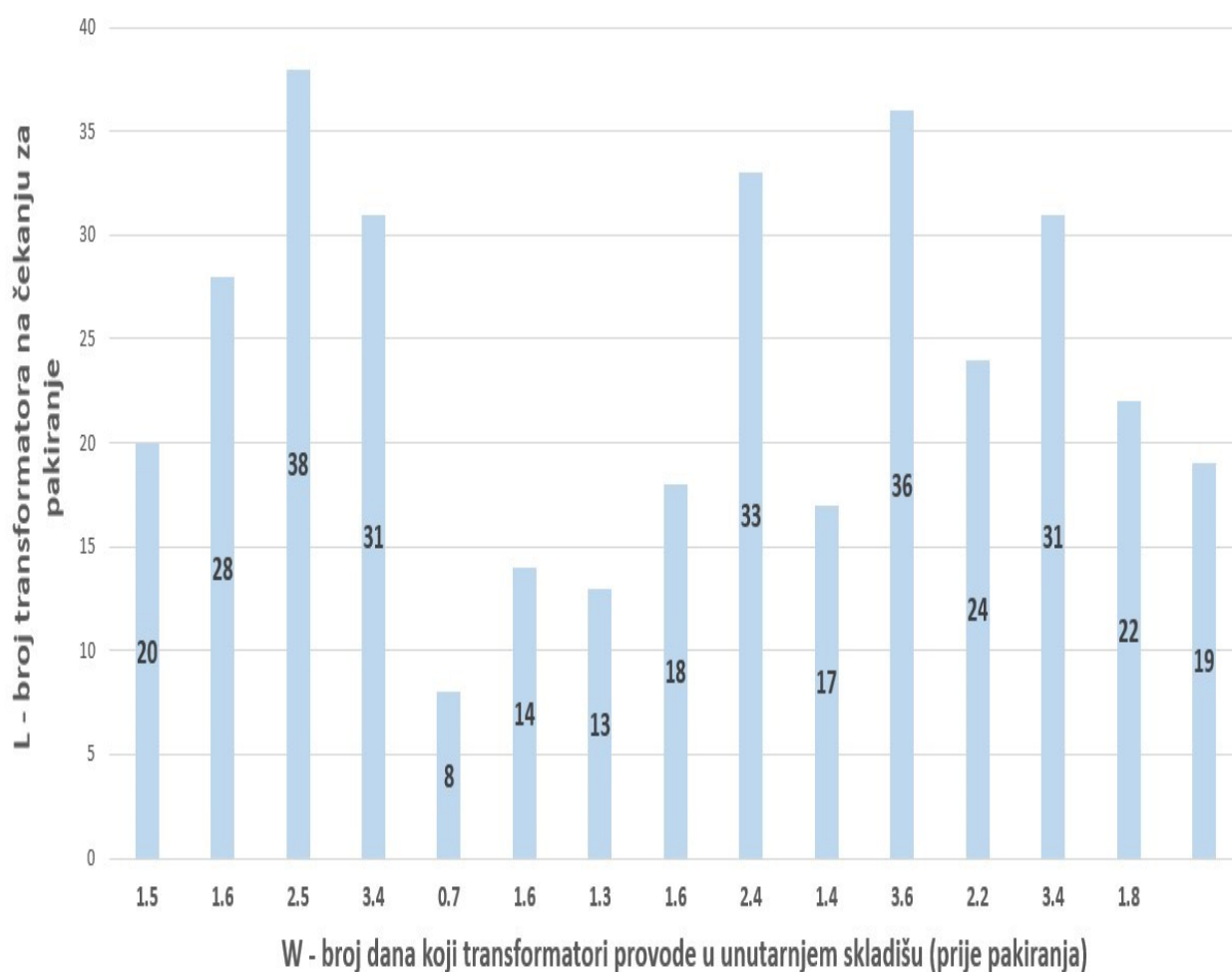
Drugim riječima ova veličina nam govori koliko je uspješno ispitanih mjernih transformatora u nekoj jedinici vremena, konkretno ovdje govorimo o danima.

Vrijeme provedeno u sustavu ( $W$ ): Ovo predstavlja prosječno vrijeme koje mjerni transformator provodi u sustavu. Od uspješno provedenih testova do procesa pakiranja. [23]

Little-ov zakon pokazuje da ako želimo smanjiti broj transformatora u sustavu ( $L$ ), možemo to učiniti smanjenjem stope dolaska ( $\lambda$ ) ili smanjenjem vremena provedenog u sustavu ( $W$ ). Naravno nije nam u cilju smanjiti stopu dolazaka jer bi to u jednu ruku značilo i pad proizvodnje. S druge strane, ako želimo smanjiti vrijeme provedeno u sustavu, možemo to učiniti smanjenjem broja jedinica u sustavu ili opet smanjenjem stope dolaska što pokušavamo izbjeći.

Prvi problem koji je spomenut je veći kapacitet proizvodnje od kapaciteta pakirnice. Drugim riječima puno više mjernih transformatora se proizvodi (te uspješno testira kroz tražena ispitivanja) u danu nego što se može zapakirati u istom vremenskom periodu.

Graf može biti prikazan na sljedeći način. Imamo broj transformatora na čekanju i broj dana koji transformatori provode u kompaniji prije pakiranja. U ovom slučaju je za svaki dan dodijeljena jedna vrijednost odnosno količina mjernih transformatora, L. Jasno je vidljivo da što je veći broj transformatora na čekanju da je veći i broj dana koji se odnosi na proces pakiranja.



**Slika 4.2** Količina transformatora na čekanju povezana s brojem dana u unutarnjem skladištu

Na slici [Slika 4.2] također vidimo da je „najbolji“ dan za skladišni prostor bio peti dan, kada je na čekanju samo 11 mjernih transformatora te vidimo da će oni biti u unutarnjim prostorijama kompanije nešto manje od jednog dana. S druge strane ukoliko uzmemo najgori slučaj, koji je ovdje jedanaesti dan, gdje je ispitano čak 36 mjernih transformatora, tada dolazimo do brojke od 3.6 dana.

Na to možemo gledati i s druge strane, mjerni transformatori su cijeli radni tjedan smješteni na unutarnjim skladišnim mjestima i čekaju na proces pakiranja.

Kada govorimo o drugom rješenju odnosno o povećanju skladišnih kapaciteta započet će se s najčešće proizvedenim mjernim transformatorima, njihovim dimenzijama i prosječnom površinom. Na slici [Slika 4.3] odabrani su upravo oni mjerni transformatori koji se najčešće proizvode te njihove pripadajuće naponske razine. Jedna od glavnih karakteristika mjernih transformatora je njihova velika visina u usporedbi s drugim dimenzijama ali u ona u ovom slučaju neće biti razmatrana.

Naponski nivo	Visina (mm)	Širina (mm)	Duljina(mm)	Površina (mm <sup>2</sup> )	Površina (m <sup>2</sup> )
AGU - 420	5,420.00	843.00	836.00	704,748.00	0.70
AGU - 145	2,351.00	800.00	560.00	448,000.00	0.45
AGU - 123	3,100.00	902.00	450.00	405,900.00	0.41
AGU - 52	1,830.00	810.00	560.00	453,600.00	0.45
AGU - 24	2,315.00	730.00	560.00	408,800.00	0.41
VCU - 525	6,050.00	780.00	600.00	468,000.00	0.47
VCU - 362	5,000.00	780.00	600.00	468,000.00	0.47
VCU - 245	3,170.00	780.00	600.00	468,000.00	0.47
VPU - 72.5	2,010.00	580.00	400.00	232,000.00	0.23
VAU - 420	5,540.00	1,200.00	870.00	1,044,000.00	1.04
VAU - 123	2,660.00	940.00	650.00	611,000.00	0.61
VPU - 170	2,475.00	630.00	450.00	283,500.00	0.28
Prosječne veličine	3,493.42	814.58	594.67	499,629.00	0.50

**Slika 4.3 Prikaz dimenzija mjernih transformatora**

Na slici [Slika 4.4] prikazan je Little-ov zakon za proces skladištenja. Analiza je rađena kroz deset radnih dana, a rezultati su vidljivi na slici. Veličine koje su analizirane su L (broj transformatora koji je zadovoljio sve uvjete za pakiranje) te  $\lambda$  (broj uspješno ispitanih mjernih transformatora).

	L - broj transformatora koji je zadovoljio sve uvjete za pakiranje	$\lambda$ - stopa dolazaka (broj uspješno ispitanih transformatora dnevno)	W - vrijeme koje transformator provede u sustavu u danima (od ispitivanja do uspješnog pakiranja)	P - površina koju transformatori zauzimaju u unutarnjim prostorima (m <sup>2</sup> )
Dan 1	20	13	1.5	10
Dan 2	28	17	1.6	14
Dan 3	38	15	2.5	19
Dan 4	31	9	3.4	15.5
Dan 5	8	11	0.7	4
Dan 6	14	9	1.6	7
Dan 7	13	10	1.3	6.5
Dan 8	18	11	1.6	9
Dan 9	33	14	2.4	16.5
Dan 10	17	12	1.4	8.5
Dan 11	36	10	3.6	18
Dan 12	24	11	2.2	12
Dan 13	31	9	3.4	15.5
Dan 14	22	12	1.8	11
Dan 15	19	8	2.4	9.5

**Slika 4.4 Prikaz površine transformatora koji zauzimaju u unutarnjim prostorima**

Prva veličina, L, prikazuje broj transformatora koji je zadovoljio sve uvjete za pakiranje. Drugim riječima, takvi transformatori su uspješno prošli sve faze ispitivanja te su smješteni na nekoj lokaciji unutar kompanije do procesa pakiranja. Cilj je da njihov broj bude što manji jer bi se time minimizirala potrebna unutarnja skladišna površina te bi transformatori odmah nakon ispitivanja išli na proces pakiranja.

Druga veličina,  $\lambda$ , opisuje stopu dolazaka transformatora odnosno broj uspješno ispitanih transformatora, u ovom slučaju na dnevnoj razini. U idealnom slučaju svi proizvedeni transformatori prošli bi tehnička ispitivanja u što kraćem vremenskom roku te bi nakon toga krenuli na proces pakiranja.

Treća veličina odnosno  $W$  (vrijeme koje transformator provede u sustavu u danima) je veličina koje je dobivena preko matematičkog izraza. U zadnjem retku dodana je četvrta veličina koja se direktno ne odnosi na spomenuti zakon već prikazuje površinu koju mjerni transformatori zauzimaju u unutarnjim skladišnim prostorima. Vidimo da je zapravo površina vezana za broj transformatora pojedine vrste koji se proizvedu pojedini dan.

Takva površina drukčija je iz dana u dan budući da se svaki dan proizvode razne vrste transformatora ali i različite količine mjernih transformatora odnosno možemo reći da proizvodnja nije konstanta. Budući da različiti transformatori imaju i različite naponske razine posljedica je da imaju i različite površine postolja. Iz tog razloga puno je teže optimizirati skladišni prostor budući da je on jako varijabilan. Jedan dan zahtjevi mogu biti jako niski, u smislu male potrebne skladišne površine, a u drugom danu zahtjevi se mogu drastično povećati, u smislu jako velike potrebne skladišne površine.

Upravo zbog velike varijabilnosti proizvedenih mjernih transformatora i njihovih različitih površina najbitniji je kompromis. Probati uspješno zadovoljiti što više dana u godini sa skladišnim prostorom, a s druge strane paziti da se skladišni prostor ne predimenzionira jer tada ostaje prazan i ne iskorištava se njegov potencijal za potencijalno druge stvari. Na slici [Slika 4.5] prikazani su dodatni redovi koji se odnose na kapacitet pakiranja po danu,  $X$ , te dostupna površina nakon svakog radnog dana, odnosno na kraju smjene.

	L - broj transformatora koji je zadovoljio sve uvjete za pakiranje	P - površina koju transformatori zauzimaju u unutarnjim prostorima (m <sup>2</sup> )	X - broj uspješno zapakiranih transformatora po danu	Dostupna površina nakon svakog radnog dana (m <sup>2</sup> )
Dan 1	20	10	17	40.57
Dan 2	28	14	19	36.07
Dan 3	38	19	13	23.57
Dan 4	31	15.5	26	21.07
Dan 5	8	4	12	23.07
Dan 6	14	7	18	25.07
Dan 7	13	6.5	19	28.07
Dan 8	18	9	23	30.57
Dan 9	33	16.5	19	23.57
Dan 10	17	8.5	12	21.07
Dan 11	36	18	8	7.07
Dan 12	24	12	11	0.57
Dan 13	31	15.5	10	-9.93
Dan 14	22	11	24	-8.93
Dan 15	19	9.5	11	-12.93

**Slika 4.5 Prikaz dostupne površine u unutarnjim prostorima nakon svakog radnog dana**

Vidljivo je da je kapacitet pakiranja također dosta varijabilan što je i razumljivo zbog širokog spektra mjernih transformatora koji su u proizvodnji. Iz zadnjeg reda vidljiva je dostupna površina, koja se kako dani prolaze smanjuje sve dok ne postane negativna, odnosno budući da je površina fizička veličina ne postaje negativna nego jednostavno nema slobodnih kapaciteta za odlaganje. U tom slučaju se mjerni transformatori odlažu na druge pomoćne površine koje nisu za to namijenjene što naravno smanjuje efikasnost drugih poslova i to bi trebalo izbjegavati. Bitno je naglasiti da slika [Slika 4.5] ne prikazuje stvarno stanje već prikazuje kretanje zaliha mjernih transformatora na unutarnjem skladištu te je za ovu analizu uzeta pretpostavka da su sve unutarnje skladišne površine bile dostupne prvog dana.

Vidljivo je da nakon petnaest dana nedostaje gotovo 13 m<sup>2</sup> skladišnog prostora. Tada se prelazi na alternativno rješenje koje je privremeno ali ne i najbolje. Naime koriste se takozvane pomoćne površine. One su pozicionirane blizu pojedinih aktivnih dijelova u proizvodnji, primjerice, pored prostora za montažu, pored peći za sušenje itd. Samim time odlaganje mjernih transformatora na takve površine ometa druge radnje i aktivnosti te konačno gledano smanjuje se efikasnost cjelokupnog procesa.



Na slici [Slika 4.6] prikazan je drugi primjerak gdje je uzet u obzir jedan od najnepovoljnijih radnih tjedana kada promatramo skladištenje. Vidljivo je da je već petog dana došlo do minimalnog nedostatka unutarnje skladišne površine.

	L - broj transformatora koji je zadovoljio sve uvjete za pakiranje	P - površina koju transformatori zauzimaju u unutarnjim prostorima (m <sup>2</sup> )	X - broj uspješno zapakiranih transformatora po danu	Dostupna površina nakon svakog radnog dana (m <sup>2</sup> )
Dan 1	23	11.5	14	37.57
Dan 2	27	13.5	11	29.57
Dan 3	45	22.5	10	12.07
Dan 4	33	16.5	21	6.07
Dan 5	27	13.5	12	-1.43

**Slika 4.6 Prikaz dostupne površine u unutarnjim prostorima - drugi uzorak**

Samim time može se zaključiti da kada se proces promatra kroz duži vremenski dostupna površina u unutarnjem skladištu gotovo je uvijek “negativna“ te se vrlo rijetko vraća na “pozitivne“ vrijednosti. Drugim riječima gotovo uvijek se koriste pomoćne površine za unutarnje skladištenje koje kako je već spomenuto smanjuju efikasnost drugih procesa i radnji. Zaključujemo da se proces gotovo nikada neće vratiti u normalu, odnosno će se jako teško postići da opet imamo 40 m<sup>2</sup> slobodne unutarnje površine za skladištenje mjernih transformatora zbog takvog omjera dolazaka i odlazaka. Postoje slučajevi kada dostupni unutarnji skladišni prostor bude dostupan ali najčešće onda slijedi velika serija transformatora iz proizvodnje odnosno ispitne stanice pa se ti kapaciteti jako brzo popune.

Već je spomenuto da je proces proizvodnje, a samim time i skladištenja jako varijabilan te je u takvim procesima jako teško odrediti optimalan prostor za unutarnje skladištenje. Rezultat koji se dobio u ovom primjeru je odraz mjerenja ali historijskih podataka prikupljenih iz kompanije.

Prvi prijedlog rješenja, koji je bio smanjenje vremena pripreme, konkretno procesa pakiranja i manipuliranja ne može se realizirati bez značajnih investicija i zapošljavanja nove radne snage.

Drugi prijedlog koji je bio povećanje skladišnog prostora odnosno smanjiti utjecaj nedostatka skladišnog prostora prihvaća se. Povećanjem unutarnjeg skladišnog prostora smanjit će se nepotrebni gubitci te će također smanjiti vrijeme koje su transformatori provodili u unutarnjim prostorima.

Dodatno, možemo reći da je optimizacija skladišta označava proces poboljšanja performansi i efikasnosti svih skladišnih operacija kako bi se smanjili operativni troškovi, povećala iskoristivost prostora i poboljšala opća produktivnost. Takvim pristupom u bližoj budućnosti definitivno će se realizirati i projekt povećanja pakirnice, kako bi se smanjilo samo vrijeme pripreme te dodatno optimizirao cijeli proces skladištenja.

Raspored skladišnog prostora je također ključan aspekt optimizacije skladišta što je i dokazano kroz gore navedene primjere. Dobro osmišljeni skladišni prostor može povećati iskoristivost prostora, poboljšati pristupnost proizvodima i smanjiti vrijeme potrebno za premještanje robe unutar skladišta. Ovo uključuje i odgovarajuću organizaciju transformatora na unutarnjem skladištu na način koji olakšava prikupljanje i otpremu.

Napredni korak koji će se trebati poduzeti u budućnosti biti će automatizacija operacija koja također će zasigurno dodatno povećati efikasnost cijelog procesa. Ovdje se pod pojmom automatizacija misli na upotrebu automatiziranih skladišnih sustava, robotike i drugih tehnologija koje ne da će samo povećati efikasnost, nego će i smanjiti pogreške ljudi te osloboditi radnike za složenije zadatke primjerice u proizvodnji ili montaži.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu ispitivali smo mogućnosti optimizacije skladištenja mjernih transformatora, s posebnim naglaskom na dva ključna prijedloga: smanjenje vremena pripreme i manipulacije te povećanje skladišnog prostora.

Kroz dubinsku analizu i razmatranje različitih faktora, zaključili smo da bi drugi prijedlog - povećanje skladišnog prostora - bio najefektivniji u trenutnim okolnostima. Ova strategija može značajno smanjiti utjecaj nedostatka skladišnog prostora na ukupnu učinkovitost operacija, pružajući više fleksibilnosti u upravljanju zalihama i smanjujući potencijalne zastoje u radu.

Međutim, treba naglasiti da prvi prijedlog - smanjenje vremena pripreme - također ima značajan potencijal za unapređenje operativne učinkovitosti. Iako ovaj prijedlog trenutno nije proveden, vjerujemo da bi njegova buduća implementacija mogla pružiti dodatne koristi, uključujući brže vrijeme obrade i poboljšanu produktivnost.

U konačnici, optimizacija skladištenja mjernih transformatora zahtijeva stalno prilagođavanje i inovacije. S obzirom na dinamičnost i složenost suvremenih operativnih okruženja, važno je da nastavimo pratiti promjene, provoditi redovite revizije i neprestano tražiti nove prilike za poboljšanje. Ovi prijedlozi predstavljaju korak u tom smjeru, nudeći praktične strategije za unapređenje operativne učinkovitosti i isporuke vrijednosti našim klijentima.

## LITERATURA

- [1] Facilities Planning: James A. Tompkins, John A. White, Yavuz A. Bozer, and J. M. A. Tanchoco, 8-15
- [2] Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, John W. Creswell, 199 -203
- [3] <https://www.koncar.hr/>, dostupno dana 05. travnja 2023.
- [4] <https://www.koncar.hr/o-nama/istrazivanje-i-razvoj/>, dostupno dana 05. travnja 2023.
- [5] <http://www.koncar-mjt.hr/>, dostupno dana 06. travnja 2023.
- [6] Završni rad: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Prikaz i analiza tehnološkog procesa montaže kućišta i aktivnog dijela mjernog transformatora, autor: Kristina Hudin, dostupno dana 06. travnja 2023.
- [7] <https://www.referenceforbusiness.com/management/Int-Loc/Location-Strategy.html>, dostupno dana 14. lipnja 2023.
- [8] <https://www.mbaknol.com/operations-management/location-strategy-in-operations-management/>, dostupno dana 14. lipnja 2023.
- [9] <https://www.google.com/maps/@45.8100553,15.8694749,1254m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>, dostupno dana 14. lipnja 2023.
- [10] [http://www.koncar-mjt.hr/istrazivanje\\_i\\_razvoj](http://www.koncar-mjt.hr/istrazivanje_i_razvoj), dostupno dana 14. lipnja 2023.
- [11] <https://eho.zse.hr/obavijesti-izdavatelja/security/HRKOTRPA0003>, dostupno dana 15. travnja 2023.
- [12] <https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/organizing-for-the-future-nine-keys-to-becoming-a-future-ready-company>, dostupno dana 15. lipnja 2023.
- [13] Gordana Barić - Pokazatelji poslovanja poduzeća - Pokazatelji poslovanja, dostupno dana 08. svibnja 2023.
- [14] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Transformator>, dostupno dana 05. lipnja, 2023.
- [15] [https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument\\_transformer](https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_transformer), dostupno dana 05. lipnja 2023.
- [16] <https://www.iqsdirectory.com/articles/electric-transformer/power-transformers.html>, dostupno dana 13. lipnja 2023.

- [17] <https://www.elprocus.com/what-is-an-instrument-transformer-types-and-their-differences/>, dostupno dana 01. srpnja 2023.
- [18] [http://www.koncar-mjt.hr/proizvodi/srednjenaponski\\_mjerni\\_transformatori](http://www.koncar-mjt.hr/proizvodi/srednjenaponski_mjerni_transformatori), dostupno dana 04. travnja 2023.
- [19] [http://www.koncar-mjt.hr/proizvodi/visokonaponski\\_mjerni\\_transformatori](http://www.koncar-mjt.hr/proizvodi/visokonaponski_mjerni_transformatori), dostupno dana 04. travnja 2023.
- [20] <https://oden.io/glossary/manufacturing-cycle-time/>, dostupno dana 10. svibnja 2023.
- [21] <https://www.sketchbubble.com/en/presentation-manufacturing-cycle.html>, dostupno dana 10. svibnja 2023.
- [22] [https://www.koncar-institut.hr/hr/?solution\\_group=sustav-za-mjerenje-i-pracenje-parcijalnih-izbijanja](https://www.koncar-institut.hr/hr/?solution_group=sustav-za-mjerenje-i-pracenje-parcijalnih-izbijanja), dostupno dana 16. svibnja 2023.
- [23] <https://www.masterclass.com/articles/littles-law>, dostupno dana 22. lipnja 2023.
- [24] Andrew Potter, Denis R. Towill & Jonathan Gosling (2019): On the versatility of Little's Law in operations management a review and classification using vignettes, Production, dostupno dana 22. lipnja 2023.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija