

# Analiza sustava za proizvodnju distributivnih i specijalnih transformatora

---

**Belić, Damir**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*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:235:798452>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-13**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Damir Belić**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.ing.

Student:

Damir Belić

Zagreb, 2015.

**ZADATAK**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur.broj:   |        |

**DIPLOMSKI ZADATAK**

Student: **Damir Belić** Mat. br.: 0035174434

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza sustava za proizvodnju distributivnih i specijalnih transformatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the system for production of distribution and special transformers**

Opis zadatka:

Proizvodi razmatrane tvornice su visokovrijedni, tehnički složeni i tradicionalno tržišno uspješni. Ipak, djelovanje i opstanak na globaliziranom tržištu zahtijeva stalno kritičko preispitivanje – prevrednovanje, uočavanje mogućnosti i osmišljavanje unapređenja te njihovu provedbu u proizvodnom sustavu kako bi se pravodobno prilagodio promjenjivim tržišnim uvjetima.

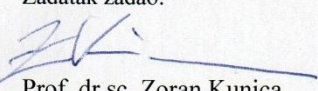
U radu je potrebno:

1. opisati proizvodni sustav u kojemu se realiziraju distributivni i specijalni transformatori, uključujući proizvodni program, tehnologiju i ostale značajke (poslovno-tržišno okruženje; sadržaj i slijed poslovnih, inženjerskih i izravnih proizvodnih radnji u sklopu cjelokupne djelatnosti (realizacije proizvoda));
2. odabrati reprezentativne proizvode, za njih prikupiti potrebne podatke i provesti odgovarajuće korake sukladno metodologiji projektiranja proizvodnih sustava (kao što su: proračuni potrebnih kapaciteta i površina te oblikovanja tokova materijala i rasporeda radnih mjesta);
3. kritički usporediti dobivena rješenja i postojeće stanje te predložiti mjere unapređenja.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Zadatak zadao:

  
 Prof. dr.sc. Zoran Kunica

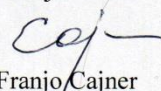
Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datum obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

  
 Prof. dr. sc. Franjo Čajner

## **IZJAVA**

---

Izjavljujem s punom materijalnom i moralnom odgovornošću da sam ovaj rad samostalno napravio služeći se stečenim znanjem i literaturom.

U Zagrebu, 9. srpnja 2015.

---

ime i prezime studenta

## **ZAHVALA**

---

Zahvaljujem svome mentoru prof.dr.sc. Zoranu Kunici na pruženoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Zahvaljujem asistentu mag.ing.mech. Tihomiru Opetuku na pomoći i savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Također želim zahvaliti djelatnicima odjela Razvoja proizvodnje tvrtke Končar D&ST, a posebno mag.ing. Zlatku Kopjaru na utrošenom vremenu i ustupljenim materijalima.

Posebno bih volio zahvaliti svojoj obitelji što su mi omogućili studiranje i na podršci i vjeri u mene tijekom cjelokupnog studija. Od srca se zahvaljujem mojoj Andrei na podršci i strpljenju tijekom pisanja ovog rada.

## **SAŽETAK**

---

U sklopu rada prema metodologiji projektiranja proizvodnih sustava napravljena je analiza proizvodnje suhih i specijalnih transformatora renomiranog proizvođača. Opisani su ustroj tvrtke, proizvodni program, tehnologija i ostale značajke važne za analizu proizvodnog sustava. Odabrani su reprezentantni proizvodi te je prema njima po metodi trokuta provedena analiza rasporeda elemenata sustava te izvedeno kapacitivno dimenzioniranje elemenata sustava. Simulacijom u programu FlexSim je dobiven maksimalni kapacitet sustava. Na kraju rada predložene su mogućnosti poboljšanja proizvodnje.

Ključne riječi: transformator, proizvodni sustav, analiza, projektiranje, simulacija.

## **ABSTRACT**

---

As a part of the thesis, according to the methodology of production system design, an analysis of the production of dry and special transformers by one reputable company was made. The structure of the company was described together with the production system, the technology and all other significant aspects of the production process analysis. Showpiece products were selected and an analysis of redistributing the system elements was made according to the triangle method. A capacitive dimensioning of the system elements was made. By simulating in FlexSim, the maximum capacity of the system was obtained. At the end of the thesis, the possibilities of improvement were suggested.

Keywords: transformer, production system, analysis, planning, simulation.



## SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| ZADATAK.....   | I         |
| IZJAVA.....  | II        |
| ZAHVALA.....   | III       |
| SAŽETAK.....   | IV        |
| ABSTRACT.....  | V         |
| POPIS SLIKA.....   | VIII      |
| POPIS TABLICA.....   | X         |
| POPIS OZNAKA.....  | XI        |
| <b>1. UVOD.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Končar grupa.....   | 1         |
| 1.2. Projektiranje proizvodnih sustava.....                                    | 3         |
| <b>2. KONČAR D&amp;ST.....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1. Osnovne informacije.....  | 7         |
| 2.2. Projektni zadatak.....  | 7         |
| 2.3. Lokacija proizvodnog sustava.....   | 8         |
| 2.4. Organizacijske strukture.....   | 9         |
| <b>3. TRANSFORMATOR.....</b>   | <b>13</b> |
| 3.1. Konstruiranje transformatora.....   | 20        |
| 3.2. Održavanje transformatora.....  | 21        |
| 3.3. Označavanje transformatora.....   | 22        |
| 3.4. Proizvodni program Končar D&ST.....                                       | 23        |
| <b>4. REALIZACIJA TRANSFORMATORA KAO PROIZVODA.....</b>                        | <b>30</b> |
| <b>5. OBJEKTI UNUTAR LOKACIJE SUSTAVA.....</b>                                 | <b>37</b> |
| <b>6. PREDSTAVNIČKI TRANSFORMATORI.....</b>                                    | <b>41</b> |
| <b>7. TOKOVI MATERIJALA.....</b>   | <b>43</b> |
| 7.1. Ulazni materijali.....  | 43        |
| 7.2. Transportni putovi unutar lokacije do Hale 4.....                         | 46        |
| 7.3. Tehnološki proces montaže suhih transformatora s tokovima materijala..... | 47        |
| 7.4. Tehnološki proces montaže specijalnih transformatora.....                 | 52        |
| 7.5. Tehnološki proces montaže prigušnica.....                                 | 60        |
| <b>8. METODA TROKUTA.....</b>  | <b>64</b> |
| <b>9. KAPACITIVNO DIMENZIONIRANJE ELEMENATA SUSTAVA.....</b>                   | <b>74</b> |
| 9.1. Izrada aktivnog dijela.....   | 74        |
| 9.2. Namatalice.....   | 76        |

---

|   |           |
|---|-----------|
| 9.2.1. Micafil .....  | 77        |
| 9.2.2. Globe .....  | 78        |
| 9.2.3. Tangys .....   | 80        |
| 9.2.4. Paravicini.....  | 82        |
| 9.3. Sušenje i punjenje uljem .....                               | 82        |
| 9.3.1. Električna peć.....  | 83        |
| 9.3.2. Peć za sušenje aktivnog dijela transformatora .....        | 84        |
| <b>10. ODREĐIVANJE MAKSIMALNOG KAPACITETA SUSTAVA SIMULACIJOM</b> | <b>87</b> |
| <b>11. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA .....</b>                           | <b>95</b> |
| <b>12. ZAKLJUČAK.....</b>   | <b>97</b> |
| <b>13. LITERATURA .....</b>                                       | <b>99</b> |

## POPIS SLIKA

---

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Organizacijska struktura Končar- Elektroindustrija d.d. [1].....            | 2  |
| Slika 2. Izvoz po regijama u 2013. godini. [2] .....                                 | 2  |
| Slika 3. Certifikati i društva. [1].....   | 3  |
| Slika 4. Udio isporučenog po asortimanu Končar D&ST u 2013. godini.[2].....          | 7  |
| Slika 5. Lokacija tvrtke. [6].....   | 8  |
| Slika 6. Organizacijska struktura Končar D&ST. [2] .....                             | 12 |
| Slika 7. Osnovni dijelovi transformatora. [9].....                                   | 13 |
| Slika 8. Slaganje limova u jezgru. [12] .....  | 16 |
| Slika 9. Jezgrasta izvedba jednofaznog transformatora. ....                          | 17 |
| Slika 10. Krivulja kade. [16] .....  | 22 |
| Slika 11. Primjer natpisne pločice. [18] .....                                       | 23 |
| Slika 12. Primjer uljnog distributivnog transformatora. [21].....                    | 25 |
| Slika 13. Primjer suhog distributivnog transformatora. [22] .....                    | 26 |
| Slika 14. Primjer srednjeg energetskog transformatora. [23].....                     | 27 |
| Slika 15. Primjer specijalnog transformatora. [24] .....                             | 28 |
| Slika 16. Pojednostavljeni prikaz razvojnog ciklusa transformatora po odjelima. .... | 30 |
| Slika 17. Pojednostavljena shema komunikacija od natječaja do ponude. ....           | 31 |
| Slika 18. Dijagram toka lansiranja proizvodnje. ....                                 | 32 |
| Slika 19. Radni prostor Končar D&ST. [25].....                                       | 37 |
| Slika 20. Hala 4. [25] .....   | 38 |
| Slika 21. Tok materijala žica za namote.....   | 43 |
| Slika 22. Tok materijala za jezgre. ....   | 44 |
| Slika 23. Tok materijala kotlova s poklopcem. ....                                   | 45 |
| Slika 24. Tok materijala za izolaciju. ....  | 45 |
| Slika 25. Transportni putovi između elemenata na lokaciji do Hale 1. ....            | 47 |
| Slika 26. Tokovi materijala- suhi transformatori. ....                               | 50 |
| Slika 27. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 6TBS 400-12X u Hali 4.....   | 51 |
| Slika 28. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 6TBS 630-24/B u Hali 4.....  | 51 |
| Slika 29. Tokovi materijala- specijalni transformatori.....                          | 55 |
| Slika 30. Grafički prikaz vremena izrade transformatora ABN 6000-12x u Hali 4.....   | 55 |
| Slika 31. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 2500-12/A u Hali 4.....  | 56 |
| Slika 32. Grafički prikaz vremena izrade transformatora MBN 50-38/C u Hali 4.....    | 56 |
| Slika 33. Grafički prikaz vremena izrade transformatora MON 1000-36x u Hali 4.....   | 57 |
| Slika 34. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TON 2500-24-B u Hali 4.....  | 57 |
| Slika 35. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 1600 12/B u Hali 4.....  | 58 |
| Slika 36. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 1700 12/C u Hali 4.....  | 58 |
| Slika 37. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 290-24 x/H u Hali 4..... | 59 |
| Slika 38. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 1900-36 u Hali 4.....    | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 39. Grafički prikaz vremena izrade transformatora MOZ 1510-27.5 u Hali 4. ....  | 60 |
| Slika 40. Tokovi materijala- prigušnice. ....   | 62 |
| Slika 41. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 2Pe430-7-12/150 u Hali 4..... | 62 |
| Slika 42. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 2Pe4500-12/750 u Hali 4. .... | 63 |
| Slika 43. Mrežni trokut model lokacija.....   | 68 |
| Slika 44. Sadašnji raspored strojeva u mrežnom trokut modelu lokacija. ....           | 69 |
| Slika 45. Mrežni trokut model lokacija nakon primjene ograničenja. ....               | 70 |
| Slika 46. Novi raspored lokacija. ....  | 72 |
| Slika 47. Hala 4: sadašnje stanje rasporeda strojeva (3D). ....                       | 73 |
| Slika 48. Hala 4: novi raspored strojeva (3D). ....                                   | 73 |
| Slika 49. Iskorištenost stroja Micafil.....   | 78 |
| Slika 50. Iskorištenost stroja Globe.....   | 80 |
| Slika 51. Iskorištenost stroja Tangys.....  | 82 |
| Slika 52. Iskorištenost električne sušare (peći). ....                                | 84 |
| Slika 53. Iskorištenost peći za sušenje. ....   | 86 |
| Slika 54. Simulacija izrade prigušnica. ....  | 89 |
| Slika 55. Simulacija izrade suhих transformatora.....                                 | 91 |
| Slika 56. Simulacija izrade- specijalnih transformatora.....                          | 93 |

## POPIS TABLICA

---

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Oprema za namatanje transformatora. [26].....                           | 39 |
| Tablica 2. Oprema za montažu. [26].....  | 40 |
| Tablica 3. Predstavnički tipovi transformatora. ....                               | 41 |
| Tablica 4. Predstavnički suhi transformatori. [26].....                            | 42 |
| Tablica 5. Predstavnički specijalni transformatori. [26] .....                     | 42 |
| Tablica 6. Predstavnički transformatori – prigušnice. [26] .....                   | 42 |
| Tablica 7. Tehnološki proces montaže suhih transformatora. [26] .....              | 48 |
| Tablica 8. Vremena namatanja predstavničkih suhih transformatora. [26] .....       | 49 |
| Tablica 9. Tehnološki proces montaže specijalnih transformatora. [26] .....        | 53 |
| Tablica 10. Vremena namatanja predstavničkih specijalnih transformatora. [26]..... | 54 |
| Tablica 11. Tehnološki proces montaže prigušnica. [26].....                        | 60 |
| Tablica 12. Vremena namatanja predstavničkih prigušnica. [26].....                 | 61 |
| Tablica 13. Orijentirana matrica toka materijala.....                              | 66 |
| Tablica 14. Neorijentirana matrica materijala.....                                 | 67 |
| Tablica 15. Karakteristike stroja Georg. [26].....                                 | 75 |
| Tablica 16. Tehničke karakteristike stroja Micafil. [26].....                      | 77 |
| Tablica 17. Ukupno vrijeme namatanja na stroju Micafil.....                        | 77 |
| Tablica 18. Tehničke karakteristike stroja Globe. [26].....                        | 79 |
| Tablica 19. Ukupno vrijeme namatanja na stroju Globe.....                          | 79 |
| Tablica 20. Tehničke karakteristike stroja Tangys.....                             | 81 |
| Tablica 21. Ukupno vrijeme namatanja na stroju Tangys.....                         | 81 |
| Tablica 22. Tehničke karakteristike stroja Paravicini. [26].....                   | 82 |
| Tablica 23. Električna peć - tablica zauzeća kapaciteta. ....                      | 83 |
| Tablica 24. Peć za sušenje aktivnog dijela - tablica zauzeća kapaciteta. ....      | 85 |
| Tablica 25. Grupe transformatora prema vremenima sušenja.....                      | 85 |
| Tablica 26. Maksimalni kapacitet sustava.....                                      | 94 |

## POPIS OZNAKA

---

| Oznaka         | Jedinica              | Opis   |
|----------------|-----------------------|--|
| $I$            | A                     | jakost struje                                      |
| $U$            | V                     | napon  |
| $X_L$          | $\Omega$              | induktivni otpor                                   |
| $e$            | V                     | reaktivni napon                                    |
| $\Phi$         | Wb                    | magnetski tok                                      |
| $Z$            | $\Omega$              | impedancija  |
| $\eta$         | -                     | korisnost  |
| $S$            | W                     | prividna snaga                                     |
| $P_o$          | W                     | gubitci praznog hoda                               |
| $P_T$          | W                     | teretni gubitci                                    |
| $\cos \varphi$ | -                     | faktor snage                                       |
| $f_c$          | metara/planski period | funkcija cilja                                     |
| $Q_{Si}$       | komada                | veličina serije $i$ -tog predmeta rada             |
| $Q_{POi}$      | komada                | broj predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje  |
| $Q_{TSi}$      | komada                | broj sredstava za odlaganje $i$ -tog predmeta rada |
| $v$            | m/s                   | brzina   |
| $t$            | s                     | vrijeme  |

# 1. UVOD

---

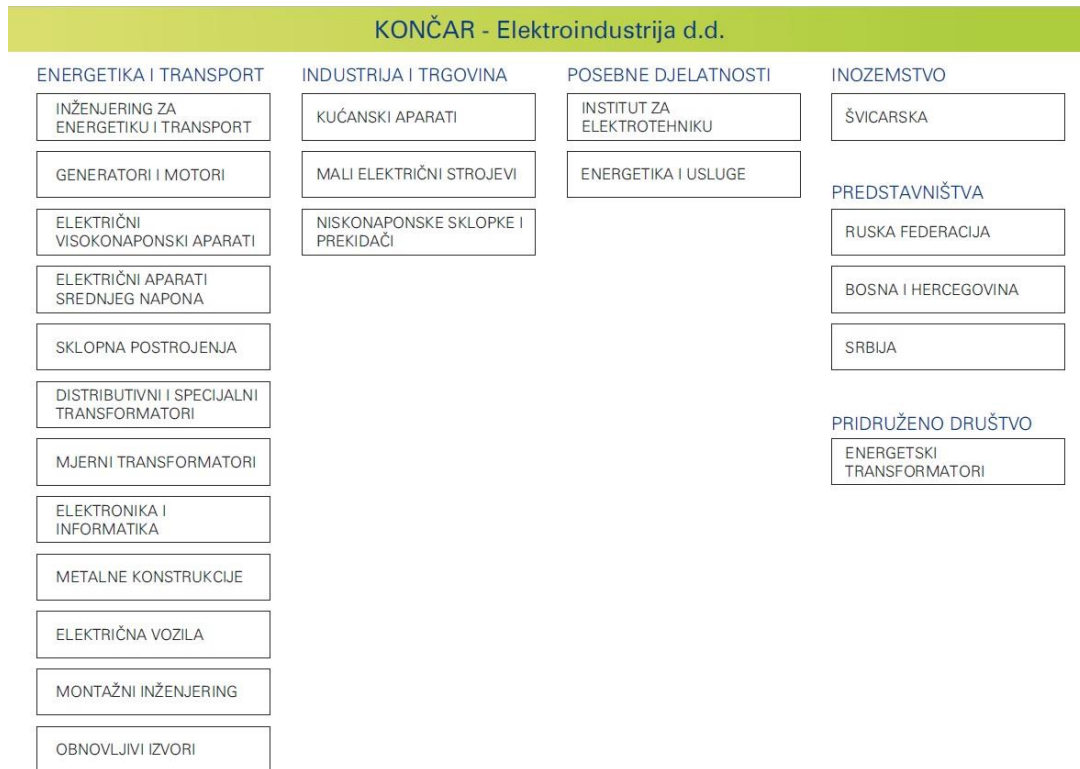
## 1.1. Končar grupa

Končar – Elektroindustrija d. d. osnovana je 1921. godine pod imenom „Elektra“ kao jedan od ogranaka tvrtke Siemens. [1] Tijekom godina tvrtka doživljava niz reorganizacija i promjena naziva.

Današnji Končar organiziran je kao Grupa koju čini krovno Društvo (KONČAR-Elektroindustrija d.d.), društva kćeri i pridružena društva u trima poslovnim područjima:

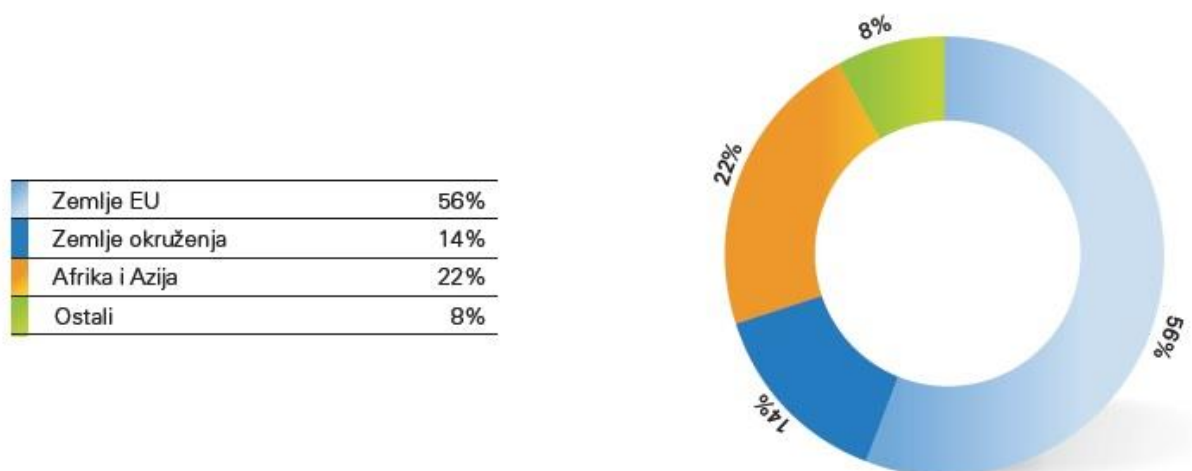
- Energetika i transport - projektiranje i izgradnja postrojenja i opreme za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije, elektromotorni vlakovi, tramvaji, električne lokomotive te električna oprema za stabilna elektrovučna postrojenja
- Industrija i trgovina - pod područje industrije spadaju elektromotorni pogoni, električna oprema srednjeg i niskog napona i ugostiteljska oprema. Pod područje trgovine spadaju električni kućanski aparati, serijski proizvodi i električni aparati niskog napona
- Posebne djelatnosti - istraživanje i razvoj proizvoda i infrastrukturne usluge. [1]

Končar Grupa u svom sastavu ima 18 ovisnih i jedno pridruženo društvo (Slika 1.), s oko 3800 zaposlenih. Svako društvo ima svoj vlastiti proizvodni program i na tržištu nastupa samostalno, društva u grupi su u pravno samostalna pod nadzorom Matice koja ih nadzire, usmjerava i podupire putem nadzornih odbora i skupština društava [1], a sve u skladu sa Zakonom o trgovačkim društvima, Statutom KONČAR - Elektroindustrije d.d. i statutima društava.



Slika 1. Organizacijska struktura Končar- Elektroindustrija d.d. [1]

Končar izvozi u više od 60 zemalja svijeta i to najviše na tržište Europske Unije (Slika 2.). Najveći dio izvoza čine proizvodi visoke tehničko-tehnološke složenosti kao što su: transformatori, generatori, transformatorske stanice, niskopodni vlakovi, tiristorizirane lokomotive itd.



Slika 2. Izvoz po regijama u 2013. godini. [2]



Izvrstnost u proizvodnji te kontinuirano unapređenje vlastite tehnologije proizvoda i proizvodnje stalan je cilj sadašnjeg i budućeg razvoja tvornica grupe Končar. Politika i ciljevi kvalitete ostvaruju se sustavnim pristupom upravljanju kvalitetom prema zahtjevima ISO 9001 i ostalim certifikatima, provjerom djelatnosti sustava i njegovim poboljšavanjem.

|  | ISO 9001  | ISO 14001 | OHSAS 18001 | ISO/IEC 27001 |
|--|-----------|-----------|-------------|---------------|
| KONČAR - Distributivni i specijalni transformatori |           |           |             |               |
| KONČAR - Električna vozila                         |           |           |             |               |
| KONČAR - Električni aparati srednjeg napona        |           |           |             |               |
| KONČAR - Električni visokonaponski aparati         |           |           |             |               |
| KONČAR - Elektronika i informatika                 |           |           |             |               |
| KONČAR - Energetika i usluge                       |           |           |             |               |
| KONČAR - Generatori i motori                       |           |           |             |               |
| KONČAR - Institut za elektrotehniku                |           |           |             |               |
| KONČAR - Inženjering za energetiku i transport     |           |           |             |               |
| KONČAR - Kućanski aparati                          |           |           |             |               |
| KONČAR - Mali električni strojevi                  |           |           |             |               |
| KONČAR - Metalne konstrukcije                      |           |           |             |               |
| KONČAR - Mjerni transformatori                     |           |           |             |               |
| KONČAR - Montažni inženjering                      |           |           |             |               |
| KONČAR - Niskonaponske sklopke i prekidači         |           |           |             |               |
| KONČAR - Sklopna postrojenja                       |           |           |             |               |
| KONČAR - Obnovljivi izvori                         |           |           |             |               |
| KONČAR - Energetski transformatori                 |           |           |             |               |
| KONČAR - Elektroindustrija                         |           |           |             |               |
| <b>UKUPNO</b>                                      | <b>15</b> | <b>17</b> | <b>6</b>    | <b>1</b>      |

Slika 3. Certifikati i društva. [1]

## 1.2. Projektiranje proizvodnih sustava

Sustav je cjelina međusobno povezanih elemenata koji se nalaze u određenim uzajamnim odnosima, podložni su izvanjskim utjecajima i zajednički djeluju na svoju okolinu. Proizvodni sustav složena je socijalna i materijalna tvorevina stvorena s ciljem stvaranja novih vrijednosti odnosno materijalnih i inih dobara. Osnovni elementi sustava su ljudi i sredstva za proizvodnju koji zajedničkim djelovanjem u radnoj okolini, uz ispunjenje određenih uvjeta prostora, energije i informacija, u određenom vremenu transformiraju ulazne komponente u izlazne veličine. [3]

Proces je zbivanje označeno pretvorbom i/ili transportom tvari, energije i/ili informacija, kod kojega se prikladnim djelovanjem na utjecajne veličine daju postići određeni rezultati. Sama proizvodnja je proces povećanja vrijednosti određenih inputa u outpute. [3]

Za svaki proizvodni proces karakteristična je podjela rada, što rezultira prostornom podijeljenošću sustava, jer se pojedini dijelovi procesa odvijaju na prostorno različitim mjestima unutar samog sustava. Rezultat te prostorne podijeljenosti proizvodni su tokovi koji osiguravaju međudjelovanje različitih elemenata u sustavu (sredstva za proizvodnju, odjeli, radna mjesta itd.). [3] Razlikuju se četiri vrste proizvodnih tokova: tok materijala, tok energije, tok informacija i tok ljudi.

Proizvodni sustav sačinjen je od više međusobno ovisnih podsustava te stoga mora biti cjelovito integriran. Ovisno o projektnim ciljevima i ograničenjima teži se prema realizaciji proizvodnog sustava kao optimalne cjeline.

Projekt je rješenje projektnog zadatka, a u projektiranju proizvodnih sustava proizvodnim su zadatkom obuhvaćeni:

- proizvodi (predmeti rada)
- količine proizvoda
- rokovi
- raspoloživa investicijska sredstva
- ostali zahtjevi (funkcionalnost, fleksibilnost, ekološkičnost itd.). [3]

Postoji pet osnovnih vrsta projektnih zadataka:

- projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava
- rekonstrukcija proizvodnog sustava uz njegovo širenje
- rekonstrukcija proizvodnog sustava bez njegovog širenja
- uvođenje manjih racionalizacija u postojećem proizvodnom sustava
- dekonstrukcija proizvodnog sustava. [4]

Osnovni cilj projektiranja proizvodnih sustava je postizanje takovog prostornog rasporeda elemenata sustava koji će omogućiti najprofitabilniju proizvodnju uz konkurentnu cijenu proizvoda. Prostorno određenje sustava definira prostor potreban za odvijanje proizvodne

djelatnosti, smještaj opreme i ljudi, rukovanje i transport materijala, spremišta i skladišta i sve podražavajuće djelatnosti. [3]

Projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava metodološki obuhvaća nekoliko etapa, prateći životni vijek proizvodnog sustava:

- izrada prethodne studije - u njoj se definira asortiman proizvoda, obujam proizvodnje, prodajne cijene i kooperacija, termini izgradnje, rentabilnost itd.
- izrada pretprojekta - pretprojekat je podloga izradi investicijskog programa za ishođenje zajmova
- izrada izvedbenog projekta - u njemu se detaljno razrađuju postavke pretprojekta
- realizacija projekta i pokusni rad sustava
- praćenje rada sustava s povremenim projektnim intervencijama (većim ili manjim)
- pretvorba sustava - radikalna promjena proizvodnog sustava s obzirom na njegovu prvobitnu namjenu
- dokinuće sustava - gašenje sustava pri kojem se u obzir uzimaju društveno-ekološki čimbenici. Fokus je na što bezbolnijem otklanjanju djelovanje dokinutog sustava kako bi se stvorili uvjeti za što lakšu promjenu funkcije mikrolokacije na kojoj se dotadašnji sustav nalazio. [3]

Osnovna zadaća pri analizi već postojećeg proizvodnog sustava je snimanje i analiza postojećeg stanja. Ovisno o projektnom zadatku, snimanje i analiza izvode se u većem ili manjem opsegu. Sama analiza može se razraditi na nekoliko faza. Započinje s razmatranjem i definiranjem promatranog proizvodnog procesa kao sustava, pri čemu se utvrđuju njegove granice, lokacije, inputi, outputi, dobavljači i sustavni tokovi. [3]

Svrha snimanja i analize jest utvrđivanje slabih i dobrih mjesta u postojećem proizvodnom sustavu kako bi se stekao bolji uvid u proizvodni sustav, ali i maksimizirala njegova efikasnost te skratilo vrijeme samog projektiranja. Snimanje se može obavljati vizualnim praćenjem procesa, proučavanjem dokumentacije ili razgovorom s ljudima uključenim u proizvodni sustav.

Snimanjem može, ovisno o projektnom zadatku, biti obuhvaćen cijeli proizvodni sustav ili samo neki njegov podsustav. Cilj snimanja je dobiti informacije o: proizvodnom programu i

oblikovanju proizvoda, pripremi proizvodnje, strojevima, opremi, zgradama i instalacijama, tehnološkim postupcima izrade i montaže, kontroli kvalitete, tokovima materijala i informacija, transportu, troškovima itd. [3]

Kao dio analize toka materijala potrebno je opisati njegov tok, što se provodi kroz četiri glavna tipa dokumenta: montažni crtež, montažni plan, postupnik i dijagram toka. Prva tri dokumenta specificiraju način na koji proizvod treba izraditi, a dijagramom toka se proces raščlanjuje na pojedine elemente, odnosno na pojedine radne operacije prikazujući ih određenim simbolima. Dijagram toka ključno je sredstvo za unapređenje toka materijala. [5]

Kao dio analize i dodatak dijagramu toka procesa poželjno je još prikupiti dvije vrste informacija pri čemu se prve odnose na korištena sredstva za rad te druge koje se odnose na podatke o studiji vremena.

## 2. KONČAR D&ST

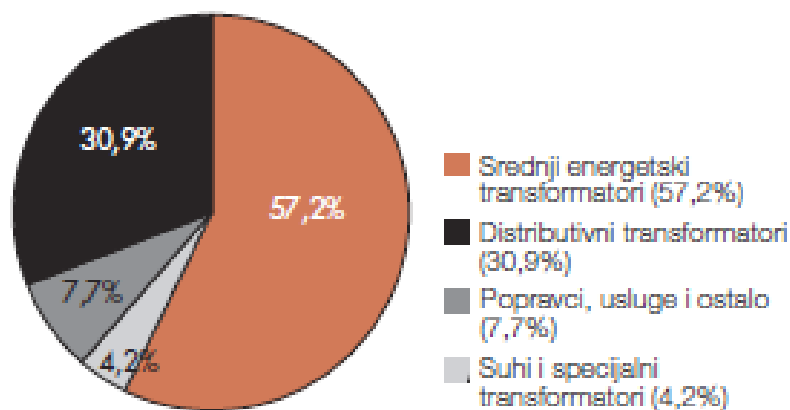
---

### 2.1. Osnovne informacije

Glavne poslovne aktivnosti Končar D&ST (Distributivni i Specijalni Transformatori) jesu razvoj, prodaja i proizvodnja distributivnih uljnih transformatora do 2500 kVA i 36 kV, specijalnih transformatora, srednjih energetskih transformatora do 100 MVA i 170 kV te projekti prodaje tehnologije na odabranim tržištima. [1]

### 2.2. Projektni zadatak

Proizvodnja suhih i specijalnih transformatora odvojena je od ostatka proizvodnje u zasebnu zaokruženu tehnološku cjelinu. Razlog odvojenosti proizvodnje suhih i specijalnih transformatora je u tome što se udio tih transformatora u odnosu na ugovoreni dio asortimana tvrtke kreće u pravilu oko 5 % (Slika 4.). Stoga je odluka uprave bila da ih se izdvoji u zasebnu proizvodnu halu da ne bi remetili ostatak proizvodnje.



Slika 4. Udio isporučenog po asortimanu Končar D&ST u 2013. godini.[2]

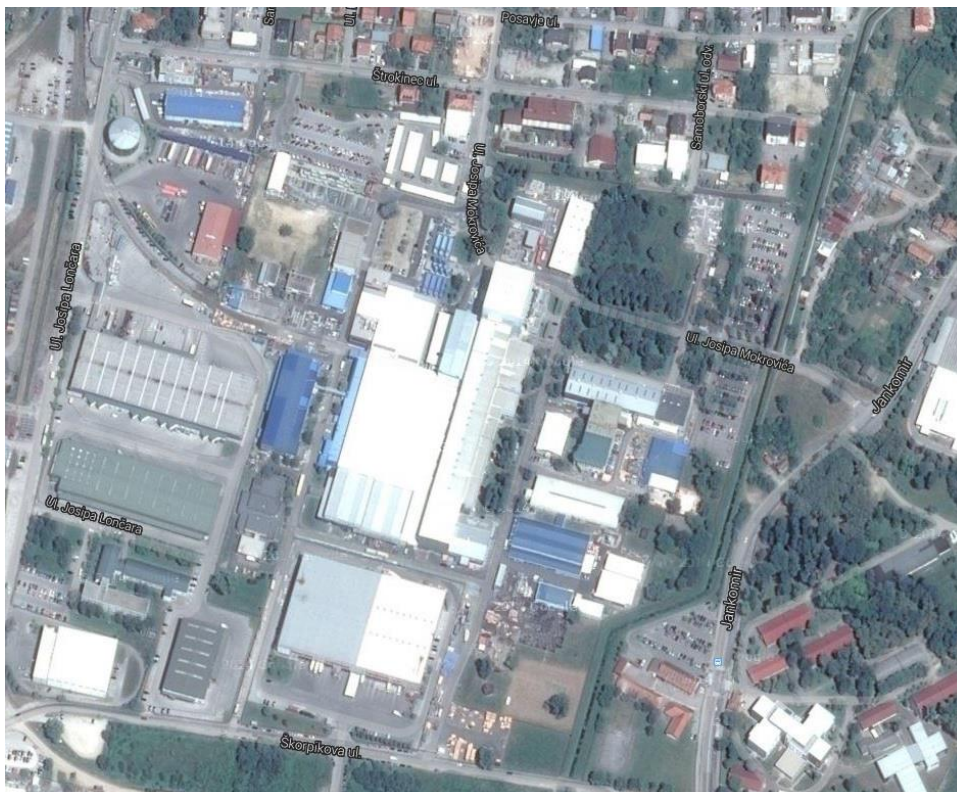
Svrha ovog rada je analiza proizvodnje suhih i specijalnih transformatora u Hali 4. U sklopu analize potrebno je napraviti korake vezane za projektiranje proizvodnih sustava nabrojane u prethodnom poglavlju (analiza postojećeg stanja, odabir reprezentanata, identificiranje tokova

materijala itd.). Naime, zbog obujma posla proizvodne hale periodički podliježu različitim preinakama, dogradnjama te modernizaciji. Kako je udio asortimana izrađenog u Hali 4 malen (oko 5 %) prioritet je do sada bio na Hali 1 te VN laboratoriju, no sa ciljem konstantnog poboljšavanja proizvodnog procesa pokazala se potreba i za analizom Hale 4.

Iako se 5 % čini malenim postotkom on značajno pridonosi u poslovanju tvrtke. Naime, mogućnost realizacije suhih i specijalnih transformatora točno prema zahtjevima i traženim specifikacijama kupca podiže konkurentsku vrijednost tvrtke. U današnje doba kada se primjećuje određena zasićenost tržišta za transformatorima, fleksibilnost tvrtke izražava se i širokim proizvodnim programom, što značajno pridonosi njenoj povoljnijoj poziciji na globalnom tržištu.

### 2.3. Lokacija proizvodnog sustava

Lokacija sustava (Slika 5.) smještena je u Zagrebu u zapadnom dijelu grada, u naselju Stenjevec Jug, na adresi Josipa Mokrovića 8. Lokaciju odlikuje izvrsna prometna povezanost (cestovne linije i željeznica).



Slika 5. Lokacija tvrtke. [6]

## 2.4. Organizacijske strukture

Organizacijska struktura najvažniji je dio svake organizacije, ona predstavlja odnose među ljudima sa svrhom izvršavanja pojedinog cilja. Svako poduzeće ima svoju definiranu strukturu i sustav, odnosno svoj sustav unutarnjih veza i odnosa.

Postoji nekoliko načina podjela organizacijskih struktura. Jedna od najčešćih podjela je na:

- Klasične, neprilagodljive ili tradicionalne organizacijske strukture
  - Linijska,
  - Stožerno-linijska,
  - Funkcijska,
  - Specifična (divizijska)
- Neoklasične - poluprilagodljive
  - Matrična organizacijska struktura
  - Projektna organizacijska struktura
- Moderne adaptivne ili organske strukture
  - T-oblik organizacije,
  - virtualna organizacija,
  - mrežna organizacija,
  - izvrnuta organizacija,
  - organizacija paukove mreže,
  - timska organizacija,
  - front/back organizacija,
  - ameba organizacija,
  - fraktalna organizacija,
  - klaster organizacija,
  - heterarhije,
  - hipertekst organizacija. [7]

## Organizacijska struktura Končar D&ST

U Končaru D&ST koristi se klasična divizijska projektna struktura. Značajka divizijske organizacijske strukture je formiranje organizacijskih jedinica prema divizijama. Svaka od divizija obavlja poslove unutar same divizije te posjeduje relativnu autonomnost, dok se ostali poslovi centraliziraju.

Prednosti divizijske organizacijske strukture su:

- decentralizacija poduzeća
- odgovornost je decentralizirana na niže razine
- donošenje odluka je brže
- brža prilagodba novonastalim uvjetima
- brža reakcija na promjene u okolini
- omogućava razvoj menadžera za razinu top-menadžera.

Slabosti divizijske organizacijske strukture su:

- paralelno obavljanje poslova istih proizvodnih jedinica (redundancija)
- jačanje divizija na uštrb cjeline
- potreba za upošljavanjem više osoba kvalifikacije glavnog menadžera
- otežana kontrola s vrha. [8]

Postoje tri vrste divizijske organizacijske strukture:

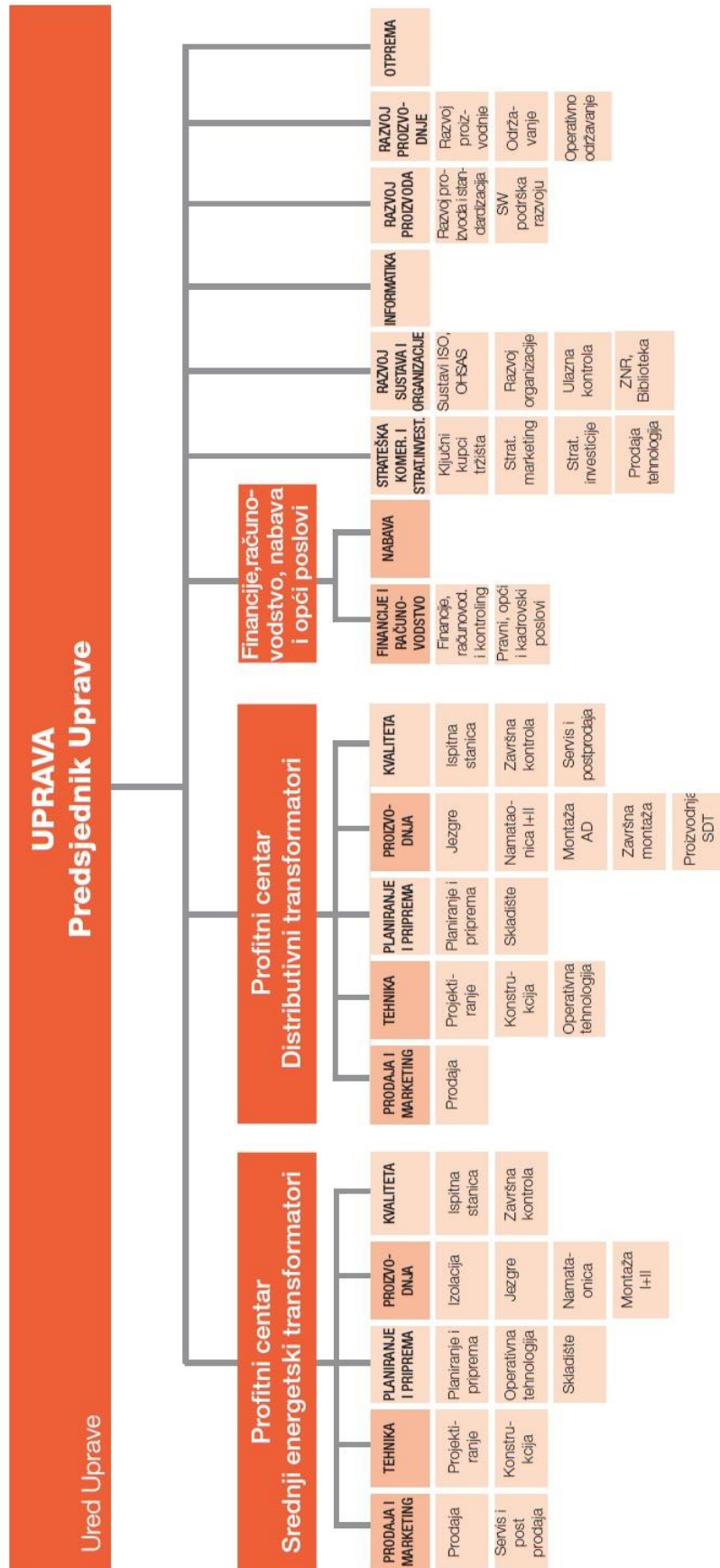
- organizacijska struktura prema potrošačima
- teritorijalna ili geografska organizacijska struktura
- predmetna ili proizvodna organizacijska struktura. [8]

Organizacijska struktura prema potrošačima koristi se u poduzećima gdje postoji nekoliko vrsta proizvoda i/ili usluga koji se pružaju različitim profilima korisnika. Takva organizacijska struktura koristi se npr. u poduzećima sa širokim dijapazonom proizvoda za različite kategorije kupaca, u bankama čije je poslovanje orijentirano na razne gospodarske subjekte, organizacije i građane, u zdravstvenim i visokoškolskim ustanovama itd.



Teritorijalna ili geografska organizacijska struktura formira se prema geografskim područjima na kojemu pojedina divizija poduzeća posluje. Takva organizacijska struktura koristi se npr. u multinacionalnim kompanijama, poduzećima koje proizvode robu na različitim lokacijama, poduzećima nastalil integriranjem nekoliko manjih poduzeća itd.

Končar D&ST je strukturiran kao divizijska predmetna struktura poduzeća. Takva struktura prisutna je kod poduzeća sa širokim i raznovrsnim asortimanom proizvoda. Na slici 6. prikazana je organizacijska struktura Končar D&ST.

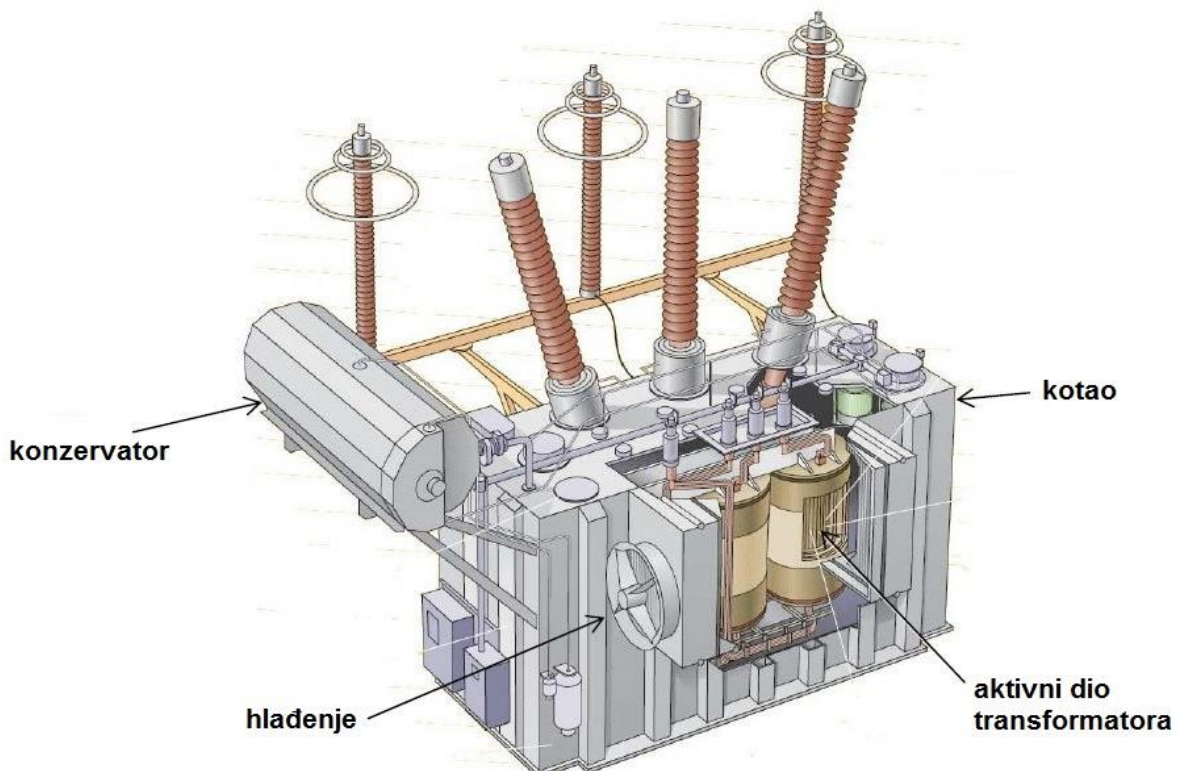


Slika 6. Organizacijska struktura Končar D&ST. [2]

### 3. TRANSFORMATOR

---

Primarna djelatnost tvrtke Končar D&ST je proizvodnja transformatora (Slika 7.). Transformator je mirujući elektromagnetski uređaj koji na načelu elektromagnetske indukcije pretvara sustav izmjeničnog napona u drugi ili više drugih sustava napona iste frekvencije. Obično imaju dva odvojena namota, primarni i sekundarni, od kojih prvi prima električnu energiju iz generatora ili električne mreže, induktivno je prenosi na sekundarni namot i predaje priključenom trošilu ili mreži. Najčešća upotreba transformatora je u elektroenergetskom sustavu kod prijenosa i razdiobe električne energije. Transformatori korišteni u elektroenergetskom sustavu za prijenos i razdiobu električne energije nazivaju se energetske transformatori (transformatori snage).



Slika 7. Osnovni dijelovi transformatora. [9]

Princip rada transformatora najbolje se može objasniti na modelu idealnog transformatora, odnosno na transformatoru u kome se mogu zanemariti gubitci uzrokovani nesavršenostima materijala od kojih je konstruiran transformator. U osnovi transformator se sastoji od dva

svitka, primarnog (sa  $N_1$  zavoja) i sekundarnog (sa  $N_2$  zavoja), koji su smješteni na zatvorenoj željeznoj jezgri. Primarni svitak trajno je priključen na izmjenični napon izvora  $U_1$ . Ako na sekundarnoj strani nema priključenog trošila tada u primarnom strujnom krugu teče struja iz izvora:

$$I = \frac{U_1}{X_{L1}} .$$

pri čemu su:

$I$  – jakost struje, A

$U$  – napon, V

$X_L$  – induktivni otpor,  $\Omega$ .

Struja koja u tom slučaju teče iz izvora veoma je mala zbog velikog induktivnog otpora ( $X_{L1}$ ). Ta struja u odnosu na primarni napon ima induktivni fazni pomak od  $90^\circ$  i u jezgri stvara izmjenični magnetski tok ( $\Phi$ ) koji povezuje oba svitka. Magnetski tok u primaru inducira napon  $e_1$  koji je kao reaktivni napon u ravnoteži sa naponom izvora:

$$e_1 = -N_1 \times \frac{d\Phi}{dt} \quad (u_1 = -e_1).$$

Dok se u sekundaru inducira napon  $e_2$ . On je priveden sekundarnim stezaljkama kao aktivni napon  $u_2$ :

$$e_{12} = -N_2 \times \frac{d\Phi}{dt} \quad (u_2 = e_2).$$

Iz odnosa  $e_1:e_2=N_1:N_2$  slijedi i odnos napona stezaljki  $u_1:u_2=N_1:N_2$  koji vrijedi i za efektivne vrijednosti  $E_1:E_2=N_1:N_2$  pa uz zanemarenje pada napona slijedi:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} .$$

Ako se na sekundarnoj strani spoji trošilo, u sekundarnom strujnom krugu poteći će struja:

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_{TR}} .$$

Amperzavoji struje  $I_2 N_2$  moraju biti poništeni dodatnom strujom primara  $I_1$  (amperzavojima  $I_1 N_1$ ) jer magnetski tok  $\Phi$  i pri opterećenju ostaje jednak kao i u praznom hodu zbog toga što

on zbog ravnoteže mora inducirati na primaru  $e_1$  bez obzira na opterećenje trošila. Dakle po iznosu amperzavoji su jednaki:

$$I_1 N_1 = I_2 N_2.$$

Iz odnosa amperzavoja slijedi odnos struja pri opterećenom transformatoru:

$$I_1 : I_2 = N_2 : N_1.$$

Ova formula razumna je aproksimacija načela rada većine današnjih transformatora. Ako se napon povećava, onda se struja smanjuje za isti faktor. U idealnom slučaju, transformator je savršeno učinkovit. Sva dolazna energija iz primarnog kruga pretvara se u magnetsko polje i ide u sekundarni krug. Ako je ovaj uvjet zadovoljen, ulazna električna snaga mora biti jednaka izlaznoj.

Transformatori se dijele na:

- Generatorske ili blok transformatore koji se koriste u elektranama za spajanje generatora i visokonaponske mreže
- Mrežne transformatore koji transformiraju napon visokonaponske mreže npr. 400 kV, 220 kV ili 110 kV u napon distribucijske mreže 30 kV ili 35 kV. Mogu biti tronamotni transformatori, autotransformatori i regulacijski transformatori
- Distribucijski transformatori koji se izvode za napon od 35 kV i niže. Izrađuju se kao dvonamotni i tronamotni. [10]

Osim energetske transformatora postoje i ostale vrste transformatora koji se zajedno nazivaju specijalni transformatori.

Generatorski i mrežni transformatori ubrajaju se u tzv. velike transformatore. Distribucijski transformatori izvode se za napon 35 kV i niže. Izrađuju se kao dvonamotajni i tronamotajni. Osim energetske transformatora postoje i mjerni transformatori, laboratorijski transformatori za različita ispitivanja, transformatori za zavarivanje itd. [11]

Osnovni dijelovi transformatora su željezna jezgra, namoti i ostali dijelovi i pribor (kotao i pripadni elementi za priključak i mehaničko učvršćenje te elementi zaštite). Željezna jezgra ostvaruje zatvoreni magnetski krug, a oko jezgre postavljaju se međusobno i prema jezgri

izolirani namoti. Jezgra i namot čine aktivne dijelove transformatora koji direktno sudjeluju u procesu transformacije. [11]

Željezna jezgra najčešće je okruglastog oblika te ne smije biti puna (radi sprječavanja većih vrtložnih struja i time velikih gubitaka u željezu). Sastavljena je od obostrano izoliranih hladno valjanih limova, izoliranih lakom, vodenim staklom, oksidom i slično. Sama jezgra ima dvije uloge, elektromagnetsku da zatvara magnetski tok i mehaničku da nosi namot.

Limovi jezgre slažu se takvim rasporedom da zračni raspored u jezgri bude što manji, a magnetska svojstva povoljnija, kako bi i potrebna struja magnetiziranja bila što manja. [11] Oblik i način slaganja limova razlikuju se ovisno o vrsti transformatora. Kvaliteta magnetskog lima određuje se ovisno o zahtjevima i vrijednostima garantiranih gubitaka u željezu (gubitci praznog hoda, buka zbog magnetiziranja jezgre). Na slici 8. prikazana su dva primjera slaganja limova u jezgri, lijevo je prikazano ravno slaganje, dok je na slici desno prikazano koso slaganje limova u jezgri.



Slika 8. Slaganje limova u jezgri. [12]

Struja magnetiziranja transformatorskog lima izrazito raste pri većim indukcijama u limu, pa se obično transformator projektira da indukcija ne prelazi iznos od 1,8 T pri nazivnom naponu. Razlog izbora nižih vrijednosti indukcije može biti zahtjev za smanjenom bukom transformatora, no time se povećavaju njegove dimenzije. [13]

Gubici u transformatoru sastoje se od gubitaka praznog hoda  $P_0$  i teretnih gubitaka  $P_T$ . Gubici praznog hoda ovise o naponu, odnosno indukciji i frekvenciji a nastaju prvenstveno

uslijed histereze i vrtložnih struja u jezgri. Teretni gubitci predstavljaju gubitke u namotima zbog protoka struje.

Korisnost transformatora ( $\eta$ ) omjer je predane i primljene djelatne snage izražen u postocima:

$$\eta = 100 \times \frac{S \cos \varphi - P_0 - P_T}{S \cos \varphi} \quad [\%].$$

pri čemu su:

$S$  - prividna snaga, W

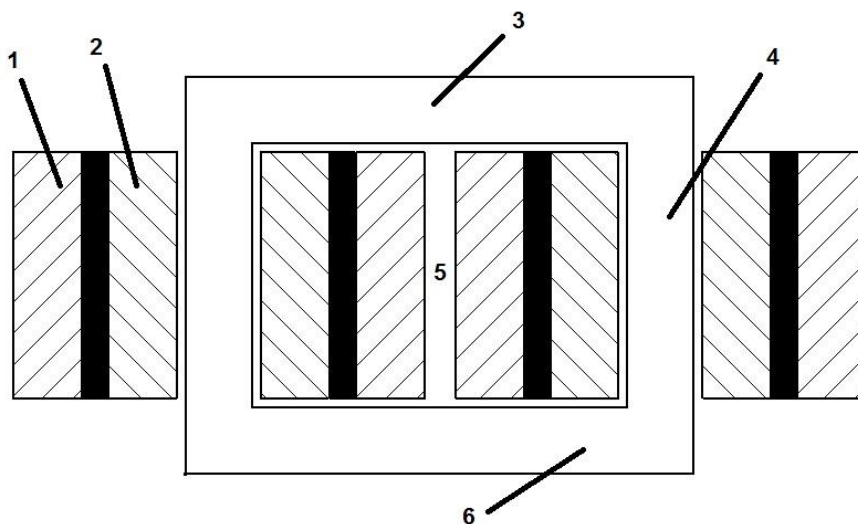
$P_0$  - gubitci praznog hoda, W

$P_T$  - teretni gubitci, W

$\cos \varphi$  - faktor snage.

Korisnost transformatora označava se najčešće sa četiri znamenke. Današnji najveći transformatori postižu iskoristivost od oko 99,2 % , što znači da su ukupni gubitci samo 0,2 % od prenesene snage. [13]

Slika 9. prikazuje načelnu izvedbu jezgrastog tipa jednofaznog transformatora. Jezgra se sastoji od stupova (4) koji nose namot nižeg napona NN (2) i namot višeg napona VN (1), te gornjeg (3) i donjeg (6) jarma koji povezuju stupove i zatvaraju magnetski tok. Otvor između stupova i jarmova naziva se prozor jezgre (5) i služi kao smještaj namota.



Slika 9. Jezgrasta izvedba jednofaznog transformatora.

Stezni elementi jezgre dimenzionirani su za mehanička naprezanja koja nastaju uslijed radijalnih i aksijalnih sila u namotima prilikom kratkog spoja. Pored sila koje se javljaju pri radu transformatora, stezni elementi opterećeni su silama u procesu ugradnje aktivnog dijela u kućište i silama koje se javljaju u procesu transporta.

Izvodi iz namota i priključci od namota do provodnika kroz koje protječu visoke struje (do 100 kA) proizvode jak izmjenični magnetski tok, a time i velike gubitke vrtložnih struja pa se kod konstruiranja obraća pažnja na dodatne gubitke i moguće izvore dodatnih zagrijanja (u nekim slučajevima dolazi i do pojave žarenja uzrokovanog magnetskim tokom u čeličnim dijelovima). Mehanička čvrstoća stezних elemenata u izradi većih industrijskih transformatora zahtijeva korištenje čelika te je iste potrebno zasloniti magnetskim zaslonima (limovima jezgre ili aluminijskim zaslonima). Električni otpor magnetskih zaslona je znatno manji od električnog otpora čelika pa je time prigušenje znatno bolje i gubici u magnetskim zaslonima su znatno manji nego što bi bili u čeličnim elementima. Radi izbjegavanja negativnih utjecaja izmjeničnog magnetskog toka u steznim elementima jezgre, stezni elementi manjih industrijskih transformatora se izrađuju od posebne slojevito prešane bukovine. Vijčani spojevi, dodatni nosači priključaka i svi ostali metalni dijelovi moraju biti izrađeni od nemagnetskog čelika ili adekvatno zaslonjeni magnetskim zaslonima. [14]

Namot je neprekinuti skup zavoja koji pripadaju strujnom krugu jednom od nazivnih napona transformatora. Uglavnom se izrađuju od bakra no u iznimnim slučajevima mogu se izrađivati i od aluminija. Transformator sadrži namot nižeg napona (NN) i namot višeg napona (VN), tronamotna izvedba ima još i namot srednjeg napona (SN). Zbog izolacijskih razloga do stupa dolazi prvo NN namot, a oko njega se stavlja VN namot (kao što je prikazano na slici 9).

Izolacija namota dijeli se na:

- međusobnu izolaciju namota iste faze (primar–sekundar za dvonamotne transformatore) i međusobnu izolaciju namota različitih faza (razmak u prozoru između faza),
- izolaciju namota prema jezgri,
- izolaciju namota prema konstrukcijskim dijelovima (steznicima jezgre, kotlu, ukrutama u kotlu transformatora i slično). [14]

Priključci su veza između aktivnog dijela transformatora i potrošača. Osnovna podjela priključaka je na priključke VN strane i priključke NN strane.



Kotao transformatora je pravokutna posuda izrađena od konstrukcijskog čelika u zavarenoj izvedbi. Zajedno sa poklopcem čini kompaktnu vezu koja se naziva kućište transformatora.

Prema načinu hlađenja transformatori se dijele na suhe i uljne transformatore. Suhi transformatori izrađuju se za napone do 50 kV i snage do približno 100 MVA, s obzirom na lošija izolacijska svojstva i slabije odvođenje topline zraka u usporedbi s uljem. Nisu zapaljivi (za razliku od uljnih) pa nalaze svoju primjenu npr. u bolnicama, na brodovima itd. [11]

Uljni transformatori imaju svoj aktivni dio uronjen u izolacijsku tekućinu. S obzirom na dobra izolacijska svojstva i veliku specifičnu toplinu transformatorskog ulja takvi transformatori izvode se za više i velike snage. Aktivni dio transformatora i ulje nalaze se u kotlu kojem pripada još i poklopac s provodnim izolatorima i konzervator.

Transformatorsko ulje ima veliku specifičnu toplinu pa je veoma pogodno za prijenos razvijene topline aktivnog dijela na kotao i rashladne uređaje. Zbog promjene temperature ulje mijenja volumen te je nužno u kućištu transformatora predvidjeti prostor gdje se te promjene mogu neometano odvijati. Taj prostor naziva se konzervator.

Konzervator je dio sustava za zaštitu ulja u transformatoru. Funkcija sustava za zaštitu ulja je sprječavanje direktnog doticaja ulja za zrakom i ovlaživanje ulja vlagom iz zraka, te omogućavanje normalnog toplinskog rastezanja ulja uslijed zagrijavanja transformatora u radu. Sustav za zaštitu ulja čine konzervator opremljen sa svim potrebnim uređajima i opremom. Razlikujemo dva načina zaštite ulja, a u skladu s njima i dva osnovna tipa konzervatora:

- bez vreće – ulje je u dodiru sa zrakom. Kod promjene volumena ulja, skupljanje ulja kod hlađenja i širenje kod zagrijavanja, dolazi i do usisavanja i istiskivanja atmosferskog zraka iz konzervatora. Kod ovih izmjena atmosferski zrak prolazi kroz tvar koja izvlači vlagu iz zraka i tako sprječava pogoršanje svojstava ulja uslijed ovlaživanja
- s vrećom – ulje je mehanički odvojeno od zraka pomoću gumenog separatora. U ovom slučaju atmosferski zrak je unutar separatora i nema dodira sa transformatorskim uljem. Na taj način se sprječava pogoršavanje svojstava ulja uslijed ovlaživanja. [15]

### 3.1. Konstruiranje transformatora

Transformator po svojim konstrukcijskim osobinama spada u grupu varijantnih konstrukcija. Osnovna funkcija i principi rješavanja su isti, a variraju količina i raspored dijelova. Često se pri konstruiranju koriste slična rješenja iz baze podataka kao podloge za rješavanje novih konstrukcijskih zadataka.

Osnovna značajka varijantnih konstrukcija je da su osnovna funkcija i struktura proizvoda definirane i ne mijenjaju se, ali se eventualno mijenjaju principi rada pojedinih parcijalnih funkcija. Pod pojmom varijantno konstruiranje često se podrazumijevaju tehnike adaptacije postojećih konstrukcijskih rješenja s ciljem zadovoljenja novih zahtjeva i ograničenja. [15] Na taj način dobivaju se nova ali istodobno i slična konstrukcijska rješenja.

Suvremeni CAD sustavi koriste dvije tehnike značajne za modeliranje varijantnih konstrukcija: modeliranje značajkama i parametarsko modeliranje.

Modeliranje značajkama je tehnika koja omogućava korisniku modeliranje kombiniranjem značajki koje se mogu shvatiti kao gradivni dio definicije proizvoda ili geometrijskog poimanja proizvoda (kao npr. rupe, utori, rebra, i dr.). Pored unaprijed definiranih značajki mnogi sustavi omogućavaju korisniku definiranje vlastitih značajki. [15]

Parametarsko konstruiranje karakteristika je suvremenih CAD sustava koja omogućava korisniku generiranje novih izvedbi konstrukcijskog rješenja mijenjajući vrijednosti parametara koji implicitno ili eksplicitno opisuju attribute konstrukcijskog rješenja. Pored mijenjanja parametara korisniku je omogućeno i definiranje relacija među parametrima (npr. dubina utora je pola njegove duljine). [15]

Konstruiranjem transformatora u tvrtki Končar D&ST bavi se Tehnički ured, odnosno odjel Konstrukcija unutar Tehničkog ureda. Za konstruiranje koristi se Catia V4 i V5 softver. Konstruirani dijelovi prolaze postupak FEM analize da bi se locirala i smanjila dinamička naprezanja na kritičnim dijelovima konstrukcije. Dok je konstruiranje transformatora u tvrtci Končar D&ST pretežito strojarski posao, projektiranjem se bave inženjeri električarske struke.

### 3.2. Održavanje transformatora

Tijekom rada transformator je izložen raznim mehaničkim naprezanjima (vibracije), dinamičkim silama kratkih spojeva te termičkim i kemijskim utjecajima. Tijekom vremena sustav izolacije transformatora gubi svoja osnovna svojstva čime se smanjuje pouzdanost samog transformatora. [16]

Dijagnostika energetskog transformatora sastoji se od:

- ispitivanja izolacijskog sustava istosmjernim i izmjeničnim naponom
- ispitivanja vlažnosti izolacije metodom obnovljivog napona
- kontrole deformacije namota mjerenjem rasipnih induktiviteta
- kontrole spojeva namota i regulacijske sklopke mjerenjem djelatnih otpora. [16]

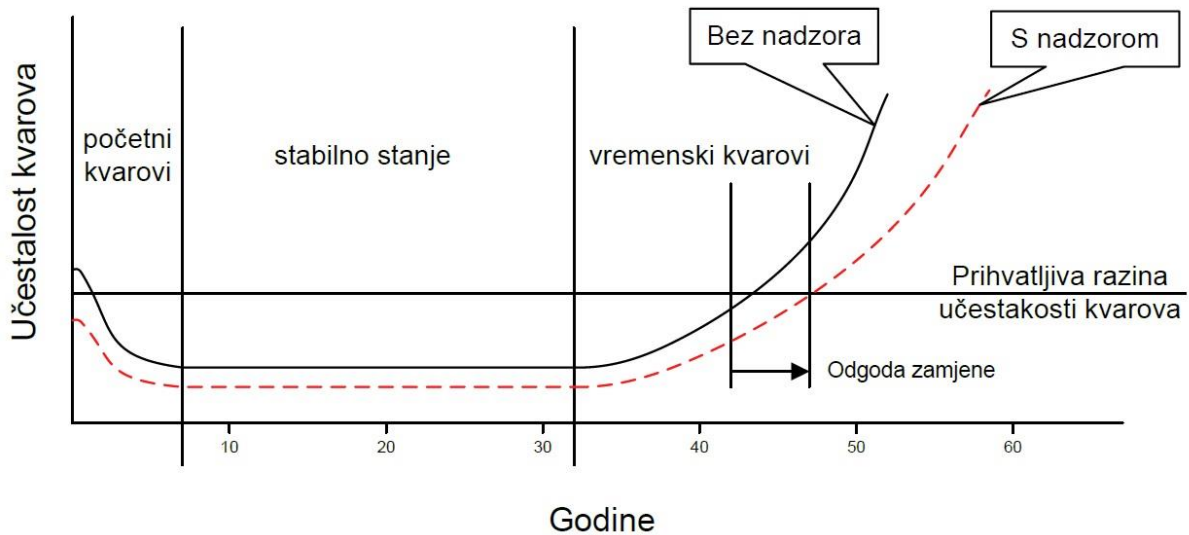
Dijagnostička ispitivanja provode se približno svake dvije do šest godina, ovisno o stanju transformatora, vrsti transformatora, zahtjevima za raspoloživost te starosti. Bitan čimbenik je i izloženost ekstremnim uvjetima i situacijama kao što su kratki spojevi, atmosferski ili pogonski prednaponi i slično. Svaka dijagnostička metoda pokazuje stanje pojedinog dijela transformatora dok ukupna mjerenja te interpretacija izmjerenih podataka daju pravu sliku stanja energetskog transformatora. Prilikom tumačenja rezultata važno je uzeti u obzir referentne vrijednosti s prošlih mjerenja. [16]

Učinak redovnog nadzora transformatora može se prikazati krivuljom kade. Kao što je prikazano na slici 10. površina ispod krivulje podijeljena je na tri karakteristična razdoblja:

- I. razdoblje - razdoblje uhodavanja sustava ili razdoblje početnih kvarova. U tom razdoblju mogu se očekivati dvije vrste kvarova, kvarovi uhodavanja te slučajni kvarovi.
- II. razdoblje - razdoblje normalne eksploatacije. U tom razdoblju intenzitet kvarova je konstantan.
- III. razdoblje - razdoblje vremenskih kvarova. U tom se razdoblju uz slučajne kvarove pojavljuju još i vremenski kvarovi.

Početni kvarovi nastaju kao posljedica loše konstrukcije, loše površinske ili toplinske obrade i slično. Slučajni se kvarovi dijele na dvije osnovne grupe, prvi su neovisni slučajni kvarovi i

nastaju zbog previda u završnim kontrolama pojedinih dijelova. Drugi su ovisni slučajni kvarovi i oni nastaju zbog nemara, nepažnje i neznanja rukovoditelja i održavatelja. Vremenski kvarovi pojavljuju se u zadnjem razdoblju eksploatacije opreme, a nastaju kao posljedica starenja dijelova i opreme. [17]



Slika 10. Krivulja kade. [16]

Iz slike 10. vidljivo je da se pravilnim i redovnim nadzorom i preventivnim održavanjem može značajno produžiti životni vijek transformatora.

### 3.3. Označavanje transformatora

Svaki transformator pri izlasku iz proizvodnje dobiva natpisnu pločicu (Slika 11.). Natpisna pločica odnosi se na sve transformatore istog tipa te podatci za konkretni transformator smiju odstupati od navedenih podataka za iznos određen normom.

| RADE KONČAR   |               |           |                  |         |                |
|---------------|---------------|-----------|------------------|---------|----------------|
| TRANSFORMATOR |               |           |                  |         |                |
| Tip           | 3TB N 50-12/B | Broj      | 900003           | Godina  | 1982           |
| Snaga         | 50 kVA        |           |                  |         |                |
| 1             | 10500         | Broj faza | 3                | Spoj    | Yzn5           |
| 2             | 10250         | Frekv.    | 50 Hz            | Si      | 12             |
| 3             | 10000         | 400/231 V | u <sub>k</sub>   | 4%      | Hlađenje ONAN  |
| 4             | 9750          |           | Kl. izol.        |         | Aktivni dio t  |
| 5             | 9500          |           | Transportna masa |         |                |
|               |               |           | Utje             | 0.084 t | Ukupno 0.401 t |

Slika 11. Primjer natpisne pločice. [18]

Natpisna pločica sadrži sljedeće podatke transformatora:

- ime proizvođača
- oznake tipa transformatora
- tvornički broj transformatora
- nazivni primarni napon transformatora
- napon praznog hoda sekundara
- nazivna frekvencija
- nazivna snaga
- nazivna ulazna struja
- nazivna izlazna struja
- podatci vezani za kratki spoj transformatora: nazivna struja kratkog spoja, napon kratkog spoja i njegovo dozvoljeno trajanje
- oznake spoja
- stupanj izolacije prema nazivnom naponu
- oznake vrste transformatora s obzirom na način vezivanja u mrežu
- način hlađenja
- težina transformatora i godina izrade. [18]

### 3.4. Proizvodni program Končar D&ST

Proizvodni program tvrtke Končar D&ST sastoji se od [20]:

- uljnih distributivnih transformatora
- suhih distributivnih transformatora

- srednjih energetske transformatora
- specijalnih transformatora.

*Uljni distributivni transformatori* dimenzionirani su za nazivne snage od 50 do 2500 kVA i maksimalni pogonski napon od 36 kV. To su trofazni, uljni, prirodno hlađeni (ONAN<sup>1</sup>) transformatori. Prikladni su za radu u zatvorenom i otvorenom prostoru. Navedena snaga u skladu je s propisima za trajni pogon, prirodno hlađenje zrakom i nadmorsku visinu do 1000 m.

Jezgra je izrađena od hladnovaljanog orijentiranog lima. Limovi jezgre režu se uzdužno i poprečno automatskim linijama. NN namoti izrađeni su iz bakrenih profila izoliranih papirom ili iz bakrene folije, a VN namoti iz okrugle ili profilne bakrene ili aluminijske žice izolirane lakom.

Aktivni dio pričvršćen je na poklopac, a poduprt je na dnu kotla. Postupak sušenja provodi se u specijalnoj vakuumskoj peći gdje se namoti električno zagrijavaju niskofrekventnom strujom. Prije isporuke transformatori prolaze ispitivanje prema normi IEC 60076. Specijalna ispitivanja i ispitivanja prema drugim nacionalnim normama provode se prema zahtjevima kupaca. [21]

---

<sup>1</sup> ONAN hlađenje je hlađenje prirodnim strujanjem ulja oko namota (ulje predstavlja primarno rashladno sredstvo), i zraka kao sekundarnog rashladnog sredstva. Načini hlađenja prema IEC normi su: ONAN (Oil Natural Air Natural), ONAF (Oil Natural Air Forced), OFAF (Oil Forced Air Forced), OFWF (Oil Forced Water Forced).



Slika 12. Primjer uljnog distributivnog transformatora. [21]

**Suhi distributivni transformatori** dimenzionirani su za nazivne snage od 100 pa do 5000 kVA i maksimalni pogonski napon od 24 kV. Transformatori su izrađeni i testirani prema IEC 726 i DIN 42523 normi, no prema potrebi i zahtjevima moguća su ispitivanja i prema nekim drugim normama. Razina buke drži se ispod dozvoljenih limita kojih preporuča DIN i NEMA- TR1 norma. Moguće je naručiti transformatore sa sniženom razinom buke. Za provjeru razine buke služi gluha komora koja se nalazi u pogonu.

Jezgra je izrađena od hladnovaljanog, orijentiranog čeličnog lima. Namoti su spiralnog tipa, NN namoti kao i VN namoti izrađeni su iz bakrenih ili aluminijjskih ploča. [22]



Slika 13. Primjer suhog distributivnog transformatora. [22]

**Srednji energetska transformatori** dimenzionirani su za snage od 2,5 do 100 MVA te za najviši napon opreme do 170 kV. Predviđeni su za vanjsku montažu u različitim klimatskim uvjetima. Izrađeni su i ispitani u skladu s normom IEC 60076.

Jezgra je izrađena od hladnovaljanog, orijentiranog magnetskog lima niskih specifičnih gubitaka. Limovi su obostrano izolirani tankim slojem anorganske izolacije, postojeće na transformatorsko ulje i visoke temperature. Namoti su cilindrična oblika, izrađeni od vodiča velike vodljivosti izoliranih lakom ili papirom.

Izolacija između namota i prema uzemljenim dijelovima sastoji se od ulja i barijera od prešpana u obliku cilindara i kapa. Kotao je izrađen od čeličnih limova. [23]





Slika 14. Primjer srednjeg energetskog transformatora. [23]

**Specijalni transformatori** proizvode se zajedno sa suhim transformatorima u Hali 4. Tipovi specijalnih transformatora koji se proizvode u pogonu su: transformatori za uzemljenje, ispravljački transformatori, transformatori za lokomotive, transformatori za metalurške peći te transformatori i transformatorske stanice za rudnike.



Slika 15. Primjer specijalnog transformatora. [24]

Ukratko, postupak izrade transformatora sastoji se od: izrade jezgre, namatanja namota te montaže ostalih dijelova. Izrada jezgre sastoji se iz uzdužnog i poprečnog rezanja transformatorskog lima, slaganje jezgara iz paketnih limova prema planovima slaganja te lijepljenja jezgri. Postupak slaganja jezgre razlikuje se prema tipu jezgre, planu slaganja transformatorskih limova te izrezanom obliku transformatorskih limova. Postupak namatanja razlikuje se prema tipu namota i tipu izolacije, namatanja se vrše na namatalicama. Plan montaže, sušenje, utop aktivnih dijelova, vakuumiranje i punjenje uljem i slične operacije razlikuju se prema vrsti transformatora. Nakon završene montaže svaki transformator odlazi u ispitnu stanicu te kad se dovrše ispitivanja proizvod odlazi u prostor za dovršenje i završnu kontrolu. Nakon završne kontrole transformatori se pripremaju za transport do skladišta gotove robe.

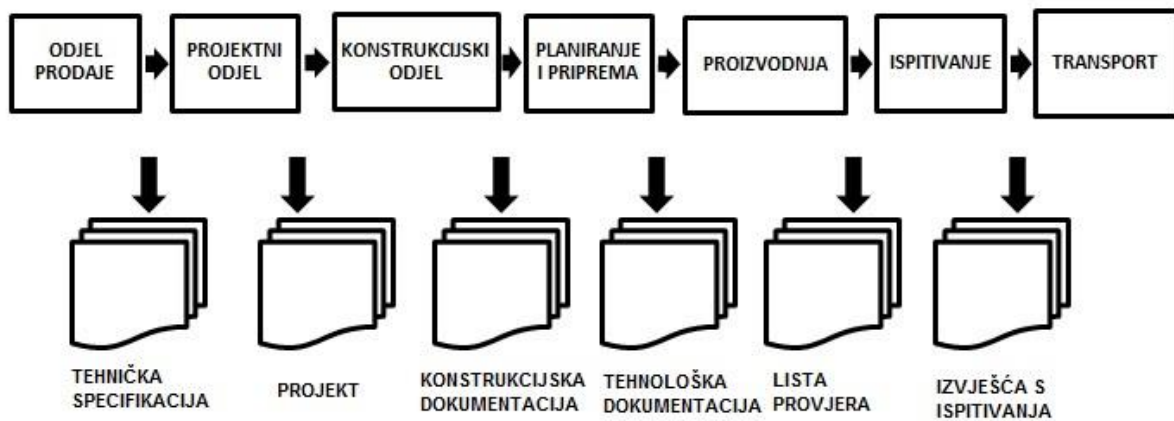
Proizvodne količine uvelike ovise o stanju na tržištu odnosno o potrebama kupaca na ciljanim tržištima. Globalna potražnja za transformatorima varira znatno u pojedinom razdobljima, ovisno o čitavom nizu faktora. Ponuda transformatora konkurentskih proizvođača, variranje cijena glavnih sirovina te nestabilnost valute dolara naspram eura također su jedni od važnih čimbenika rizika poslovanja. Također unazad nekoliko godina prisutan je značajniji utjecaj

globalne prekapacitiranosti proizvodnih kapaciteta za transformatore što uzrokuje pad tržišnih cijena i skraćuje rokova isporuke.

Broj dijelova (ugradbenih elemenata) ovisi o tipu transformatora i zahtjevima kupca.

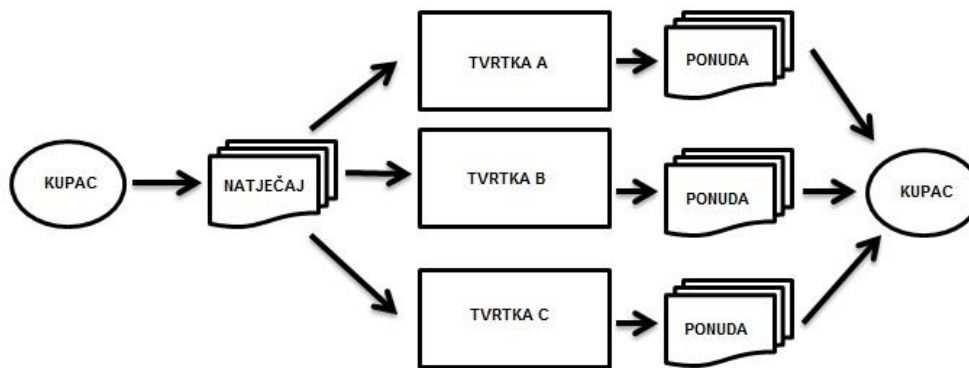
## 4. REALIZACIJA TRANSFORMATORA KAO PROIZVODA

Ovo poglavlje opisat će sadržaj i slijed poslovnih, inženjerskih i proizvodnih radnji u sklopu cjelokupne djelatnosti (realizacije proizvoda) tvrtke Končar D&ST. Slika 16. prikazuje pojednostavljeni razvojni ciklus proizvoda. Razvojni ciklus transformatora može se zamisliti kao linearni slijed aktivnosti kroz organizacijsku strukturu tvrtke. Iako su aktivnosti prikazane linearno, one to nisu već postoji vremensko preklapanje pojedinih faza unutar razvojnog ciklusa. Rezultat rada svakog odjela je izlazna dokumentacija i proizvod kao krajnji rezultat.



Slika 16. Pojednostavljeni prikaz razvojnog ciklusa transformatora po odjelima.

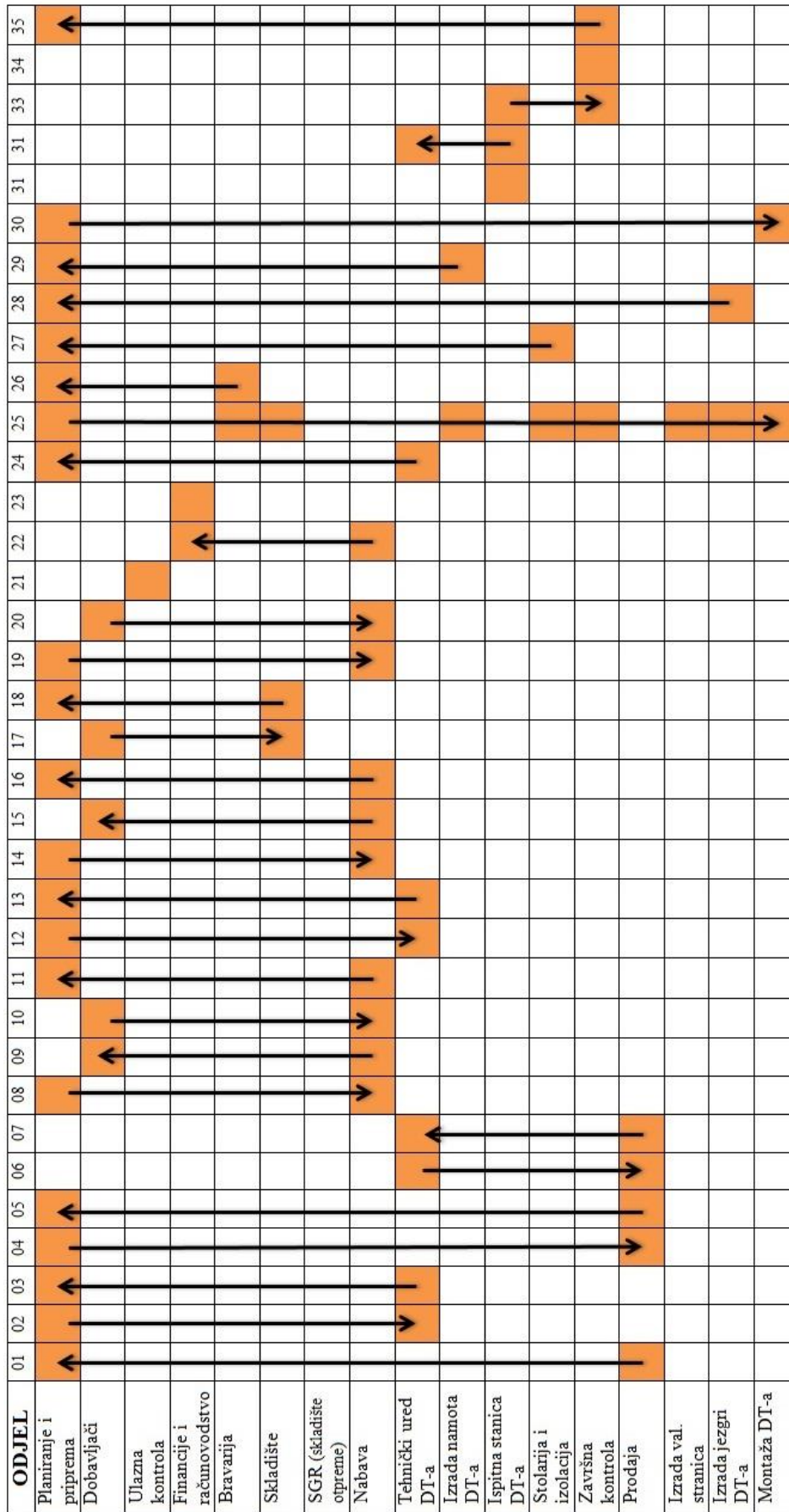
Končar D&ST ima specifičan način proizvodnje transformatora koja je u određenoj mjeri slična *lean* načinu proizvodnje, odnosno nema proizvodnje za skladište. Svaki transformator koji se proizvede već je prodan i izrađuje se prema zahtjevima točno određenog kupca. Kao što je prikazano na shemi na slici 17., proizvodnja počinje objavom natječaja od strane kupca. Prije objave natječaja kupac odabire tvrtke partnere koje imaju pravo sudjelovanja u natječaju. Kupac se prije uvrštenja tvrtke među svoje dobavljače najprije mora uvjeriti u kompetencije i mogućnosti te tvrtke, te je čest slučaj da kupac zatraži posjet pogonu ili određene informacije o tvrtki prije njezinog samog uvrštenja na listu poduzeća koja mogu pristupiti natječaju.



Slika 17. Pojednostavljena shema komunikacija od natječaja do ponude.

Natječaj sadrži tehničke zahtjeve u kojima kupac navodi osnovne specifikacije željenog proizvoda. Nakon zaprimanja natječaja odjel prodaje u suradnji s projektnim i konstrukcijskim odjelom izrađuje ponudu koja u sebi sadrži tehničke karakteristike (sa osnovnim gabaritima te obrascem sa tehničkim zahtjevima) i okvirnu kalkulaciju troškova. Ponuda se zatim šalje naručitelju te se čeka njegov odgovor, ako je odgovor pozitivan kreće se u fazu izrade transformatora. Točnu kalkulaciju troškova u početnim stadijima konstrukcije nije nimalo lako napraviti. U sveukupnim troškovima troškovi materijala znaju imati i do 60% udjela. Količina bakra ili aluminija koji se koristi za izradu namota predmet je posebnog proračuna te se na osnovi mase i cijene materijala na tržištu dobivaju troškovi tog materijala ugrađenog u transformator. Međutim, količine i cijena nekih drugih materijala kao što su čelik, izolacijski materijali i količina ulja se procjenjuju pa te vrijednosti znaju odudarati od stvarnih (nekoliko posto). Također u ranoj fazi konstrukcije, npr. prilikom izrade ponude, procjenjuju se i osnovne dimenzije proizvoda. Kod procjene dimenzija događa se da se te mjere ne procijene dovoljno točno što može rezultirati povećanjem troškova izrade samog proizvoda i manjim profitom.

Tok lansiranja proizvodnje distributivnih transformatora dan je dijagramom toka (Slika 18.), koji prikazuje aktivnosti koje se javljaju između odjela tvrtke Končar D&ST za vrijeme lansiranja proizvodnje.



Slika 18. Dijagram toka lansiranja proizvodnje.

Kvadrati označeni narančastom bojom predstavljaju aktivnost (u većini slučajeva izradu i predaju dokumenata između odjela), dok strelice označuju iz kojeg u koji odjel dokumenti putuju. Opisi aktivnosti po brojevima (koji se nalaze u prvom redu tablice) jesu:

01. Prodaja sklapa ugovor s kupcem i vrši prijavu ugovora. Prodaja prosljeđuje dokument *Prijava ugovora* odjelu Planiranja i pripreme,
02. Ako se radi o novom transformatoru Planiranje i priprema šalje Tehničkom uredu nalog za izradu tehničke dokumentacije .
03. Tehnički ured izrađuje dokument *Potreba materijala i opreme* i šalje ga u odjel Planiranja i pripreme. Tehnički ured također dodjeljuje broj dijela transformatoru.
04. Odjel Planiranja i pripreme upisuje broj dijela transformatora u *Prijavu ugovora* koju zatim prosljeđuju odjelu Prodaje.
05. Prodaja vrši izmjenu (dopunu) *Prijave ugovora* i vraća *Prijavu ugovora* odjelu Planiranja i pripreme.
06. Tehnički ured šalje *Dokumentaciju za odobrenje* odjelu Prodaje.
07. Odjel Prodaje šalje *Dokumentaciju za odobrenje* kupcu, koji nakon što ju pregleda vraća Odjelu Prodaje koji ju zatim prosljeđuje Tehničkom uredu.
08. Planiranje i priprema šalje u odjel Nabave *Zahtjev za nabavku* materijala potrebnih za montažu, izradu jezgre te nabavku specijalne opreme.
09. Odjel nabave naručuje potrebne materijale od dobavljača.
10. Dobavljači šalju Nabavi ponudu s tehničkim karakteristikama specijalne opreme.
11. Nabava prosljeđuje ponudu s tehničkim karakteristikama odjelu Planiranja i pripreme radi provjere tehničke karakteristike opreme, odnosno da daju suglasnost za nabavku opreme.
12. Planiranje i priprema prosljeđuje ponudu s tehničkim karakteristikama Tehničkom uredu radi dobivanja suglasnost o nabavci specijalne opreme.

13. Tehnički ured provjerava tehničke karakteristike specijalne opreme i daje suglasnost za nabavku specijalne opreme. Ponudu s tehničkim karakteristikama prosljeđuje odjelu Planiranja i pripreme.
14. Planiranje i priprema daje suglasnost za nabavku opreme i prosljeđuje ponudu s tehničkim karakteristikama odjelu Nabave.
15. Nabava naručuje potrebni materijal i opremu od vanjskih dobavljača.
16. Nabava šalje potvrdu o naručenim dijelovima odjelu Planiranja i pripreme.
17. Vanjski dobavljači dopremaju dijelove u Skladište.
18. Skladište zaprima robu od dobavljača te unosi podatke o primitku robe u sustav. Otpremnicu šalje u odjel Planiranja i pripreme.
19. Planiranje i priprema kontrolira otpremnice i šalje ih u odjel Nabave.
20. Vanjski dobavljači šalju u odjel Nabave račun za isporučenu opremu.
21. Ulazna kontrola kontrolira ispravnost robe i unosi ju u sustav.
22. Nakon što dobije otpremnicu i račun, odjel Nabave provjerava stanje robe u sustavu. Ako je zaprimljena tražena količina robe i ako je prošla ulaznu kontrolu, tada se Računi pripremaju za likvidaciju. Računi se šalju u odjel Financija i računovodstva.
23. Odjel Računovodstva i financija plaća račune i zatvara ponudu.
24. Tehnički ured završava tehničku dokumentaciju, unosi ju u sustav i prosljeđuje potvrdu o njezinom završetku odjelu Planiranja i pripreme.
25. Planiranje i priprema lansira proizvodnju i izdaje sljedeće dokumente:
  - Odjelu bravarije i Stolarije i izolacije šalje specifikaciju dijelova za izradu i prijem na skladište, podatke za izradu dijelova te naljepnice.
  - Odjelu izrada valovitih stanica šalje specifikaciju dijelova za izradu i prijem na skladište te identifikacijsku kartu stranica kotla
  - Skladištu šalje se specifikacija dijelova za izradu i prijem na skladište, te lista materijala za izlaz iz skladišta u proizvodnju



- Odjelu Izrada jezgri šalje se isporučnica poluproizvoda na skladište, listu za uzdužno i poprečno rezanje i identifikacijska karta jezgre
- Odjelu Izrada namota šalje se isporučnica poluproizvoda na skladište, postupnik te identifikacijska karta namota
- Odjelu Montaža se šalju otvoreni radni nalozi te identifikacijska karta transformatora
- Odjelu završne kontrole šalje se lista tvorničkih brojeva transformatora.

26. Bravarija izrađuje svoje dijelove te ih šalje na skladište. Oni ne zatvaraju radne naloge nego po njih dolazi odjel Planiranja i pripreme.

27. Stolarija i izolacija izrađuje svoje dijelove te ih šalje na Skladište. Oni ne zatvaraju radne naloge nego po njih dolazi odjel Planiranja i pripreme.

28. Nakon što je jezgra izrađena, šalje se u skladište. Planiranje i priprema uzima isporučnicu poluproizvoda na skladište.

29. Nakon što je namot izrađen, šalje se u skladište. Planiranje i priprema uzima isporučnicu poluproizvoda na skladište.

30. Poslovođa Montaže dolazi u odjel Planiranja i pripreme po identifikacijske karte transformatora. Vršiti se montaža transformatora.

31. Nakon što je završena montaža transformatora Ispitna stanica na temelju Tehničke dokumentacije transformatora vrši ispitivanje transformatora. Mjerene veličine upisuje u ispitnu listu transformatora (interni dokument).

32. Nakon što se izmjere potrebne veličine, Ispitna stanica izračunava potrebne veličine te izrađuje ispitnu listu transformatora. Taj dokument je službeni dokument koji se isporučuje kupcu s Tehničkom dokumentacijom.

33. Ispitna stanica šalje Završnoj kontroli podatke potrebne za natpis na pločicama.

34. Nakon što transformator prođe ispitivanja, vrši se njegova završna kontrola. Završna kontrola ispunjava kontrolni list završne kontrole.

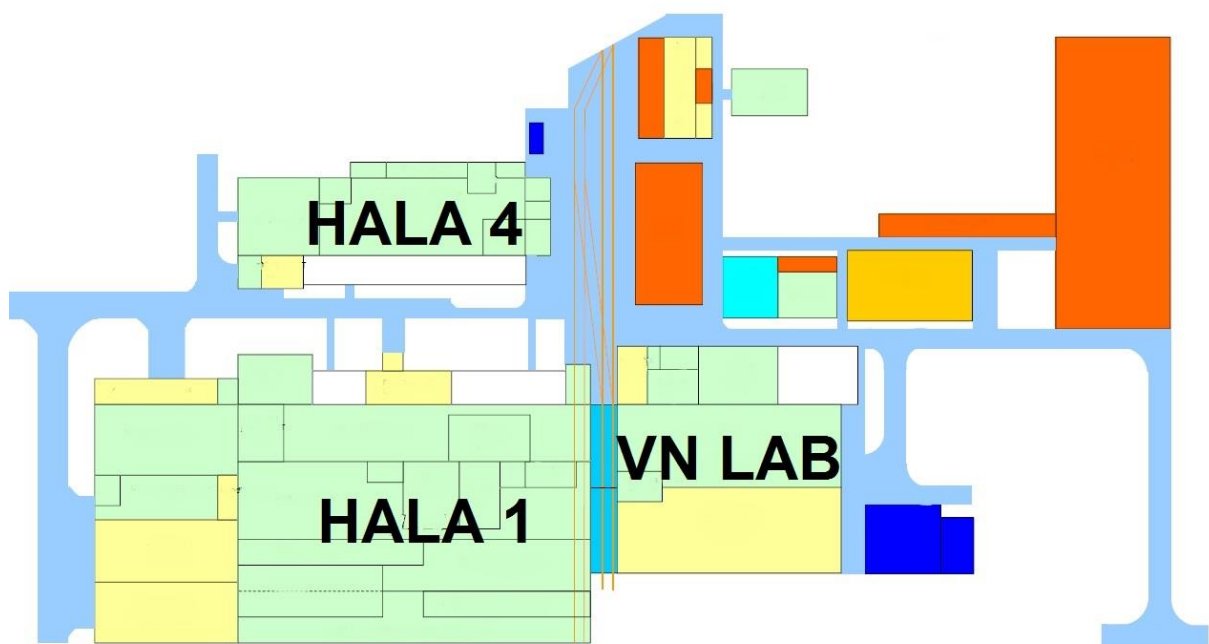
35. Završna kontrola izrađuje dokument pod nazivom Tvornički brojevi isporučenih transformatora. Transformatori se isporučuju na SGR (skladište gotove robe spremne za otpremu), a dokument uzima Planiranje i priprema. [19]

Prikazani tok lansiranja proizvodnje okvirno vrijedi i za Profitni centar Srednji energetske transformatori i za Profitni centar Distributivni transformatori.

## 5. OBJEKTI UNUTAR LOKACIJE SUSTAVA

---

Postojeći proces proizvodnje transformatora organiziran je u četiri lađe hale 1 (lađa C, D, E i F) i Hali 4. Na slici 19. prikazan je raspored objekata na lokaciji. Zelenom bojom označene su radionice, žutom su označena zatvorena skladišta, narančastom otvorena skladišta, tamnoplavom skladište transformatorskog ulja te svijetloplavom transportni putovi na lokaciji.



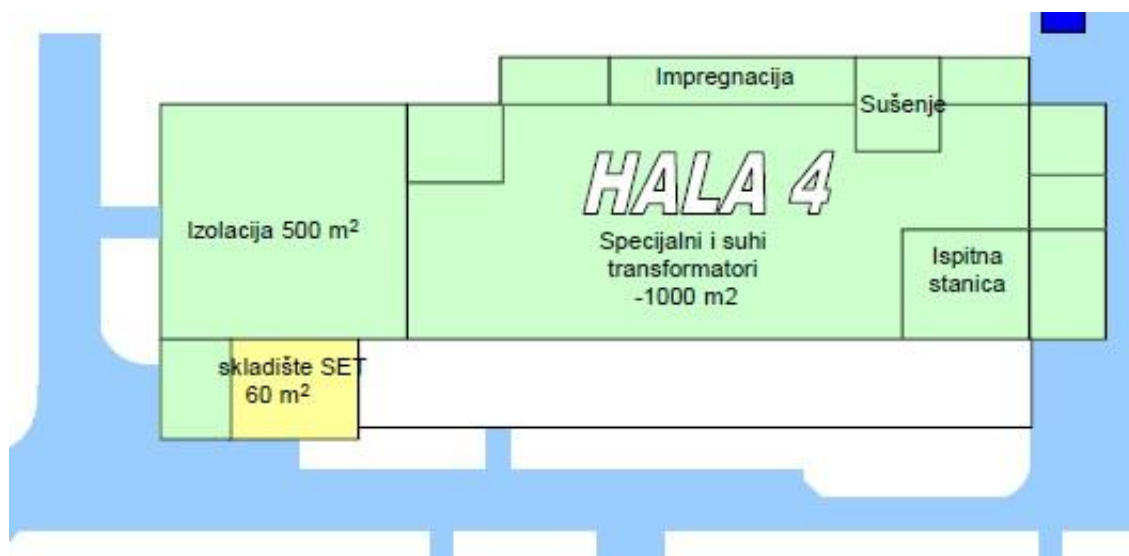
Slika 19. Radni prostor Končar D&ST. [25]

Skladišta materijala i poluproizvoda nalaze se u krugu tvornice na različitim lokacijama. Roba se skladišti na otvorenim i u zatvorenim skladištima te pod nadstrešnicama. Skladištenje robe u skladištima je na paletne regale na paletama ili komadno te na pod. Manipulacija robom odvija se unutarnjim i/ili vanjskim viličarima. Prije svakog ulaza u skladište roba prolazi ulaznu kontrolu te se u slučaju neispravnosti vraća dobavljaču. Sve transakcije robom prate se informatičkim sustavom. Sama podjela skladišta je na unutarnja i vanjska te prema centrima kojima pripadaju (DT - Distributivni transformatori, SET - Srednji energetski transformatori). Trenutno se u Končar D&ST nalazi 25 prostora namijenjenih skladištenju robe, od kojih su 12

zatvorenih skladišta, osam pod nadstrešnica te pet otvorenih skladišta. Maksimalna iskoristiva površina za otpremu transformatora iznosi oko 3300 m<sup>2</sup>.

Transport se dijeli na unutarnji i vanjski transport, poglavito radi održavanja čistoće proizvodnih pogona na razini potrebnoj za ovakav tip proizvodnje. Transport unutar pogona obavlja se električnim viličarima, elektro kolicima, mosnim dizalicama te zračnim jastucima (manipulacija najtežim transformatorima unutar ispitne stanice i transport velikih transformatora bez demontaže dijelova koji ometaju kvačenje užadi). Transport zračnim jastucima zahtijeva gladak i ravan pod. Vanjski transport obavlja se Diesel viličarima ili elektrokolicima.

Proizvodnja specijalnih transformatora odvija se u Hali 4 (Slika 20.). Hala 4 podijeljena je na dva velika dijela, u jednom se nalazi prostor gdje se izrađuje izolacija, a drugi je predviđen za izradu suhih i specijalnih transformatora.



Slika 20. Hala 4. [25]

U dijelu hale označenom na slici 20. sa „Izolacija“ izrađuju se drveni i izolacijski dijelovi. Prostor je veličine 500 m<sup>2</sup> i podijeljen je na nekoliko manjih radionica sa pripadajućom opremom. U sklopu hale nalazi se i skladište pripreme SET veličine 60 m<sup>2</sup>. Manipulacija robom u skladištu odvija se viličarom i ručno. U skladištu se skladište prešpanske letvice te ploče.

Dio hale predviđen za izradu specijalnih transformatora veličine je 1000 m<sup>2</sup>. Opremu u postrojenju može se podijeliti na opremu za namatanje namota, opremu za montažu i ostalu.

U procesu proizvodnje transformatora pojavljuje se nekoliko vrsta namota. U nastavku (Tablica 1.) nalazi se popis opreme instalirane u svrhu korištenja pri namatanju suhih i specijalnih transformatora.

Tablica 1. Oprema za namatanje transformatora. [26]

| <b>OPREMA</b>  | <b>KOMADA</b> |
|--|---------------|
| Namatalica folijskih namota MICAFIL                        | 1             |
| Horizontalna namatalica profilnom žicom TANGYS             | 1             |
| Horizontalna namatalica okruglom i profilnom žicom – GLOBE | 2             |
| Aparat za TIG zavarivanje                                  | 2             |
| Naprava za zavarivanje                                     | 1             |
| Aparat za sučeono zavarivanje profilne žice                | 1             |
| Aparat za sučeono zavarivanje okrugle žice IDEAL           | 1             |
| Dizalica nosivost 500 kg za folijskih namote               | 1             |
| Regal za odlaganje šablona za namatanje                    | 2             |
| Regal za odlaganje pom. alata za namatanje                 | 5             |
| Paleta za odlaganje šablona promjenjivog promjera          | 1             |
| Metalna palete za odlaganje namota                         | 10            |
| Radni stol   | 2             |
| Radna kolica   | 3             |
| Odmotač profilne žice (3 troma – mali)?                    | 1             |
| Pruga odmotiča   | 1             |
| Naprava za skidanje folijskih namota                       | 1             |
| Naprava za okretanje namota                                | 1             |
| Naprava za prijenos namota                                 | 1             |

U Tablici 2. navedena je instalirana oprema za montažu.

Tablica 2. Oprema za montažu. [26]

| <b>OPREMA</b>                                | <b>Komada</b> |
|--|---------------|
| Mosna dizalica 12 t                          | 1             |
| Mosna dizalica 3,2 t                         | 1             |
| Klupa 1690x590x500 mm                        | 10            |
| Naprava za prijenos namota                   | 1             |
| Stalak za užad                               | 1             |
| Stalak za odlaganje poklopaca                | 1             |
| Uređaj za tvrdo lemljenje (acetylen/kisik)   | 1             |
| Zračne naprave za stezanje vijčanih spojeva  | 3             |
| Nosač PES traka                              | 1             |
| Ručni alat za uprešavanje užadi              | 1             |
| Ručni alat                                   |               |
| Ručni baterijski viličar                     | 1             |
| Elektrokolica                                | 1             |
| Kolica za dijelove i materijal               | 3             |
| Radionički stol za cjevčice i ostale djelove | 1             |
| Radionički stol za završnu montažu           | 1             |
| Radionički ormarići za alat                  | 3             |
| Regali                                       | 3             |

U sklopu hale nalaze se još i električna peć za sušenje, HADP komora te ispitna stanica.

## 6. PREDSTAVNIČKI TRANSFORMATORI

Zbog specifičnog tipa proizvodnje teško je sa sigurnošću predvidjeti buduće količine i predstavničke proizvode. Končar nema klasični „standardni“ asortiman i količine već se proizvodi prema zahtjevima kupca, odnosno nema tzv. proizvodnje za skladište. Na temelju prijašnjih serija i količina odabrani su sljedeći predstavnički proizvodi (Tablica 3.).

Na temelju odabranih transformatora izvršit će se analiza tokova materijala.

Tablica 3. Predstavnički tipovi transformatora.

| Broj dijela | Oznaka transformatora | Broj transformatora godišnje |
|-------------|-----------------------|------------------------------|
| CT 1014     | ABN 6000-12x/H        | 3                            |
| CT 1293     | TBN 2500-12/A         | 3                            |
| CT 1038     | MBN 50-38/C           | 3                            |
| CT 1532     | MON 1000-36X          | 3                            |
| CT 1249     | 2Pe 430-7-12/150      | 6                            |
| CT 1511     | 2PE 4500-12/750       | 4                            |
| CT 1226     | TON 2500-24/B         | 3                            |
| CT 1220/3   | TBN 1700-12/C         | 3                            |
| CT 1348     | TBN 290-24X/H         | 3                            |
| CT 1394/1   | TBN 1600-12/B         | 3                            |
| CT 1395     | TBN 1900-36           | 3                            |
| CT 1509     | 6TBS 400-12X          | 20                           |
| CT 1510     | 6TBS 630-24/B         | 40                           |
| ST 0012     | MOZ 1510-27,5         | 3                            |

Ukupna godišnja količina svih predstavničkih transformatora zajedno je 100 komada. Odabrane tipove transformatora možemo podijeliti u nekoliko skupina. Na temelju podataka iz proteklih razdoblja pretpostavljene su količine transformatora za svaku pojedinu skupinu, pa tako i za svaki pojedini transformator iz skupine. Za svaku pojedinu skupinu u nastavku teksta bit će naveden tehnološki proces izrade i napravljena analiza.

Prvu skupinu predstavničkih transformatora čine suhi transformatori (Tablica 4.).

Tablica 4. Predstavnički suhi transformatori. [26]

| <b><i>BROJ<br/>DIJELA</i></b> | <b><i>TIPNA OZNAKA<br/>TRANSFORMATORA</i></b> |
|-------------------------------|---|
| CT 1510                       | 6TBS 400-12X                                  |
| CT 1509                       | 6TBS 630-24/B                                 |

Drugu skupinu predstavničkih transformatora čine specijalni transformatori (Tablica 5.).

Tablica 5. Predstavnički specijalni transformatori. [26]

| <b><i>BROJ<br/>DIJELA</i></b> | <b><i>TIPNA OZNAKA<br/>TRANSFORMATORA</i></b> |
|-------------------------------|---|
| CT 1014                       | ABN 6000-12x                                  |
| CT 1293                       | TBN 2500-12/A                                 |
| CT 1038                       | MBN 50-38/C                                   |
| CT 1532                       | MON 1000-36x                                  |
| CT 1226                       | TON 2500-24/B                                 |
| CT 1394/1                     | TBN 1600-12/B                                 |
| CT 1220/3                     | TBN 1700-12/C                                 |
| CT 1348                       | TBN 290-24X/H                                 |
| CT 1395                       | TBN 1900-36                                   |
| ST 0012                       | MOZ 1510-27,5                                 |

Treća grupa su prigušnice (Tablica 6.). Prigušnice spadaju u podgrupu specijalnih transformatora.

Tablica 6. Predstavnički transformatori – prigušnice. [26]

| <b><i>BROJ<br/>DIJELA</i></b> | <b><i>TIPNA OZNAKA<br/>TRANSFORMATORA</i></b> |
|-------------------------------|---|
| CT 1249                       | 2Pe430-7-12/150                               |
| CT 1511                       | 2Pe4500-12/750                                |



## 7. TOKOVI MATERIJALA

### 7.1. Ulazni materijali

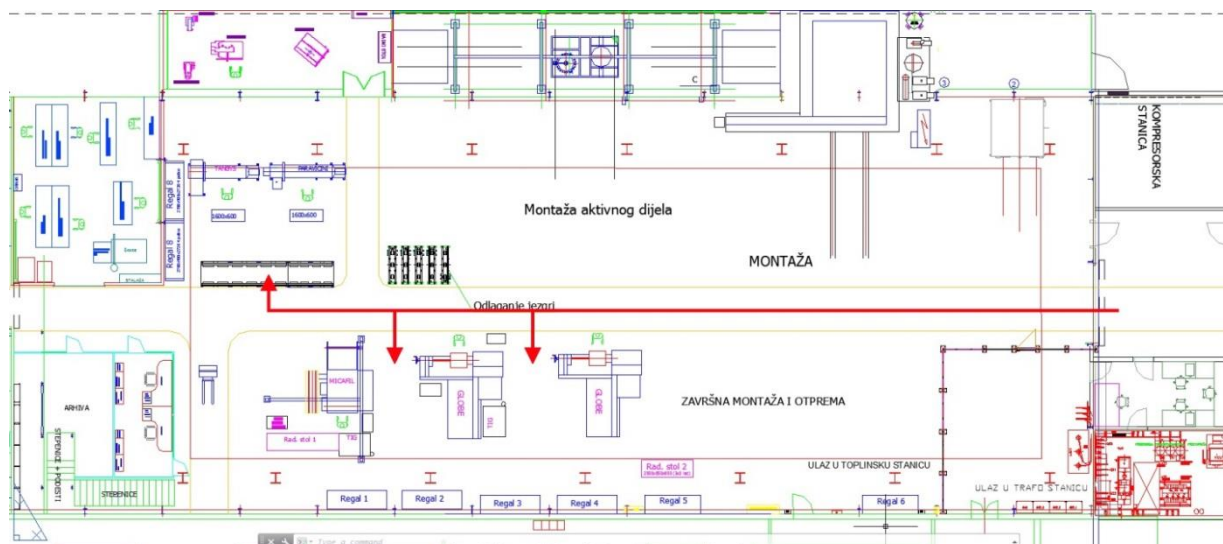
U ovom poglavlju bit će opisano kretanje materijala koji ulaze u sustav iz drugih objekata na mikrolokaciji, a potrebni su za montažu koja se odvija u Hali 4.

- ŽICA ZA NAMOTE

Žica potrebna za izradu namota dolazi iz skladišta pripreme DT (skladište N). Transport do Hale 4 odvija se vanjskim viličarom. Na ulazu u halu žica preuzima te se unutar hale žica transportira ručnim viličarom nosivosti dvije tone. Sredstvo za odlaganje žice je paleta.

Namatanje žice vrši se na jednom od strojeva u pogonu (Tangys, Micafil, Paravicini ili Globe) ovisno o zahtjevima i vrsti transformatora. Namatanje se vrši na šablonama koje se odlažu i izuzimaju prema potrebi s regala 1, 2, 3, 4 ili 5.

Tok materijala (Slika 21.) kroz proizvodnu halu označeno je crvenom bojom.

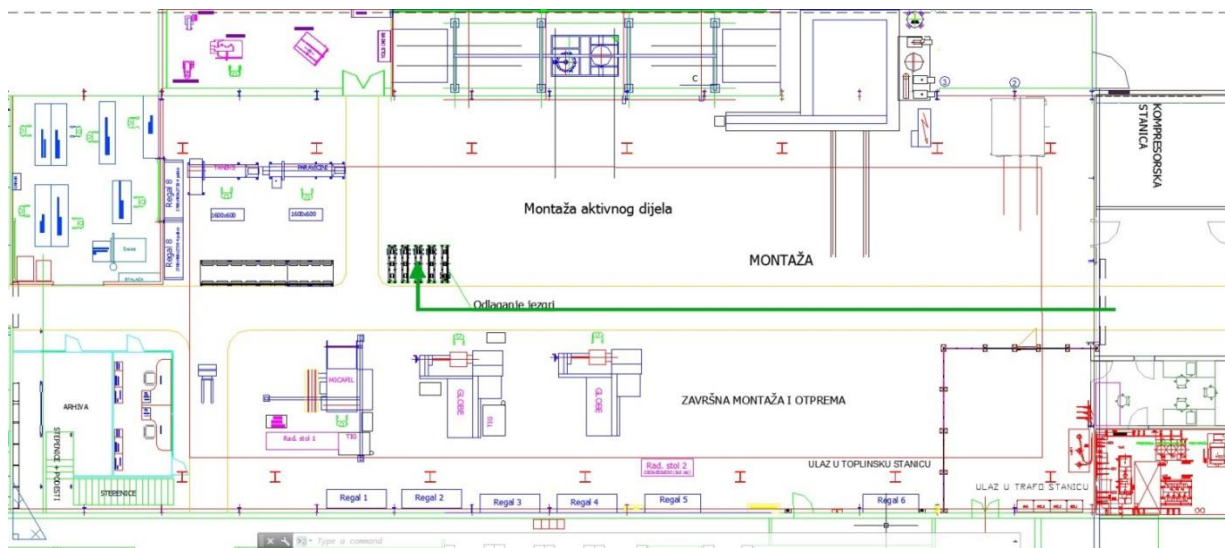


Slika 21. Tok materijala žica za namote

- JEZGRE

Jezgre dolaze gotove iz Hale 1 (montiraju se u lađama D i C). Transport do Hale 4 odvija se vanjskim viličarom. Unutar hale jezgre se transportiraju mosnim dizalicama nosivosti 3,2 ili 12 tona. Jezgre se odlažu na zato predviđena mjesta, te nakon izrade namota odlaze do prostora predviđenog za montažu aktivnog dijela.

Tok materijala (Slika 22.) kroz proizvodnu halu označeno je zelenom bojom.

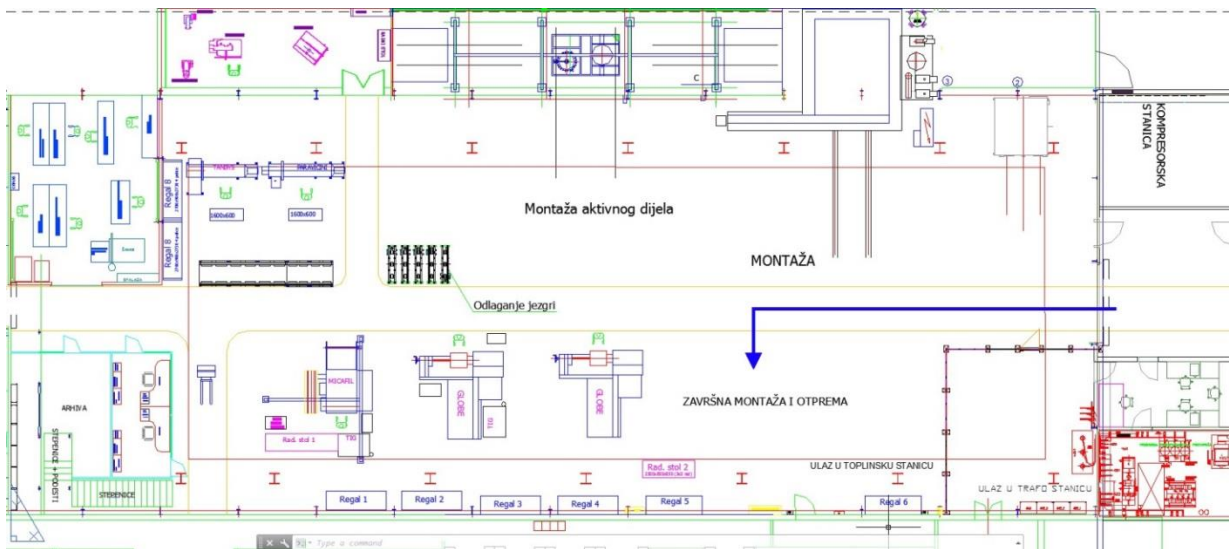


Slika 22. Tok materijala za jezgre.

- KOTLOVI S POKLOPCIMA

Kotlovi i poklopci u Halu 4 dolaze gotovi te se odlažu na prostor predviđen za završnu montažu i otpremu. Transport do Hale 4 odvija se vanjskim viličarom. Unutar hale kotlovi se transportiraju mosnim dizalicama nosivosti 3,2 ili 12 tona.

Kotlovi s poklopcima dolaze iz skladišta pripreme SET (skladište I). U skladište I kotlovi sa poklopcima dolaze od vanjskih dobavljača. Kretanje materijala (Slika 23.) kroz proizvodnu halu označeno je plavom bojom.

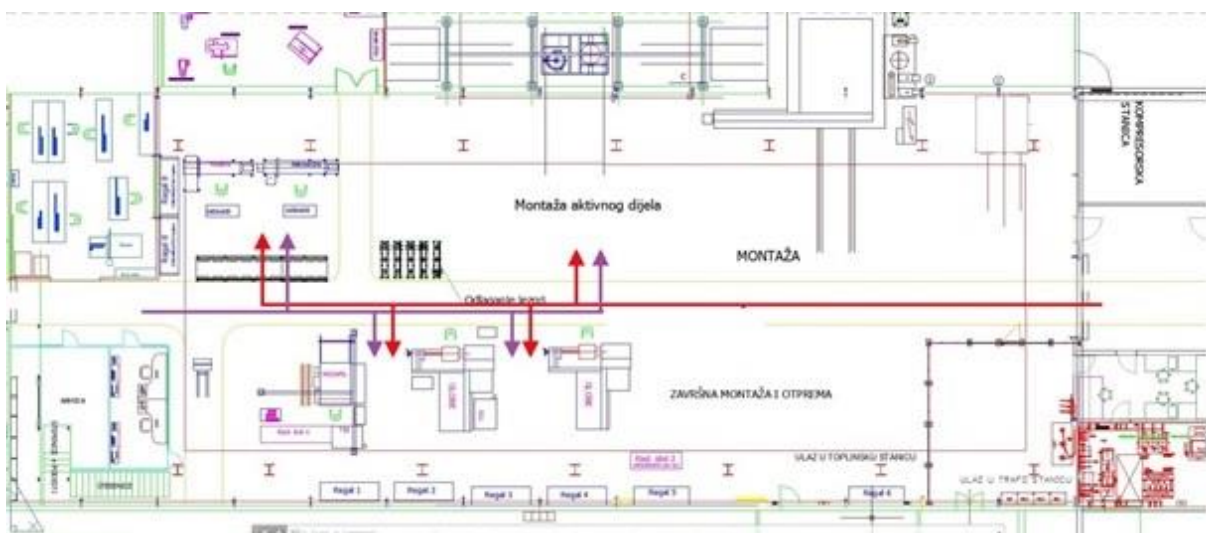


Slika 23. Tok materijala kotlova s poklopcem.

- IZOLACIJA

Izolacija u Halu 4 dolazi na dva načina. Jedan način je izravno iz prostora Hale 4 gdje se izrađuju izolacijski dijelovi. Drugi način je iz skladišta pripreme SET (skladište L). Vanjski prijevoz od skladišta L do hale odvija se viličarom te se zatim unutar hale izolacija transportira ručnim viličarom.

Ljubičastom strelicom (Slika 24.) označeno je kretanje materijala izravno iz radionice izolacijskih dijelova, dok je crvenom strelicom označen smjer kretanja materijala iz skladišta L.



Slika 24. Tok materijala za izolaciju.

- OSTALI MATERIJALI

Ostali manji dijelovi potrebni za izradu transformatora dolaze u halu iz raznih skladišta (npr. iz skladišta G pripreme SET dolaze oznake i označne pločice te oprema ispitne stanice). Roba koja ulazi u halu prati već gore opisanu proceduru sinergije vanjskog i unutarnjeg transporta.

Vijčana roba potrebna za montažu nalazi se na regalu koji se puni periodički prema principu Kanban.

## **7.2. Transportni putovi unutar lokacije do Hale 4**

Na slici 25. prikazana je lokacija sustava sa transportnim putovima od određenih objekata na lokaciji sustava do Hale 4. Zelenom strelicom prikazan je transportni put kojim u Halu 4 dolaze jezgre (iz Hale 1) i manji dijelovi potrebni za montažu aktivnog dijela (iz skladišta G). Crvenom bojom prikazani su transportni putovi kojima u halu dolazi žica za namote (iz skladišta N). Plava strelica predstavlja transportni put kojim u halu dolaze kotlovi sa poklopcima. Kotlovi sa poklopcima dolaze iz vanjskog skladišta (skladište I), a izrađuju se na drugim lokacijama izvan promatranog sustava. Izolacija ako ne dolazi iz Hale 4 (radionica izolacije) dolazi iz skladišta L, kao što je predstavljeno narančastom strelicom.



Slika 25. Transportni putovi između elemenata na lokaciji do Hale 1.

### 7.3. Tehnološki proces montaže suhih transformatora s tokovima materijala

Ovim procesom obuhvaćeni su sljedeći predstavnički transformatori tipne oznake:

- 6TBS 400-12X
- 6TBS 630-24/B.

Tehnologija montaže navedenih tipova transformatora zasniva se na sljedećim operacijama (Tablica 7.) uz uporabu alata i pomoćne opreme prilikom montaže.

Tablica 7. Tehnološki proces montaže suhih transformatora. [26]

| R.br. | Faza montaže   | Potreban alat i oprema                                   |
|-------|--|--|
| 1.    | Dopremiti jezgru na mjesto montaže   | baterijski ili ručni paletni viličar                     |
| 2.    | Demontirati kuke, gornje steznike i gornji jaram jezgre  | ručni alat   |
| 3.    | Montirati podloge NN namota  | ručni alat   |
| 4.    | Postaviti izolacione cilindre<br>Napomena: Zalijepiti sonde termičke zaštite na NN namot (ako je predviđena) | ručni alat   |
| 5.    | Montirati NN namote koji su prethodno formirani i očišćeni – spustiti NN namote u cilindre                   | mosni kran, ručni alat                                   |
| 6.    | Ukliniti NN namote   | ručni alat   |
| 7.    | Ukliniti drugi cilindar na prvi cilindar   | ručni alat   |
| 8.    | Montirati potpore VN namota  | ručni alat   |
| 9.    | Montirati VN namote<br>Napomena: Prije montaže impregnirati VN namote lakom ukoliko su izrađeni od svitaka   | mosni kran, ručni alat                                   |
| 10.   | Postaviti pregrade   | ručni alat   |
| 11.   | Uložiti i stegnuti gornji jaram  | ručni alat   |
| 12.   | Premazati silikonskim lakom slobodne plohe limova jezgre kako bi se zaštitili od korozije                    |  |
| 13.   | Spojiti namote<br>- spojeve izvesti tvrdim lemljenjem, a zatim spojna mjesta bandažirati                     | ručni alat, uređaj za tvrdo lemljenje (acetilen i kisk)  |
| 14.   | Spojiti regulaciju<br>- spojeve izvesti tvrdim lemljenjem, a zatim spojna mjesta bandažirati                 | ručni alat, uređaj za tvrdo lemljenje (acetilen i kisk)  |
| 15.   | Spojiti ploču za prespajanje   | ručni alat   |
| 16.   | Spojiti VN priključke na ploču za prespajanje  | ručni alat   |
| 17.   | Ispitati prijenos omjer  | mjerna oprema  |
| 18.   | Ugravirati oznake slova na priključna mjesta NN strane   | ručni alat   |
| 19.   | Lakirati sve spojeve VN priključaka, a zatim spojna mjesta bandažirati                                       | ručni alat   |
| 20.   | Staviti transformator u električnu peć na sušenje  | baterijski viličar ili paletni viličar                   |
| 21.   | Tlačiti, stegnuti i montirati NN priključke  | ručni alat   |
| 22.   | Pritegnuti sve spojeve   | ručni alat   |
| 23.   | Postaviti opremu (termometar, ...)   | ručni alat   |
| 24.   | Ispitati transformator u ispitnoj stanici  | mjerna oprema  |
| 25.   | Otpremiti transformator u prostor predviđen za završnu montažu i otpremu                                     | mosni kran, baterijski viličar ili ručni paletni viličar |
| 26.   | Postaviti natpisnu pločicu   | ručni alat   |

Pomoćna oprema prilikom montaže je klupica ili radionička kolica za odlaganje materijala.

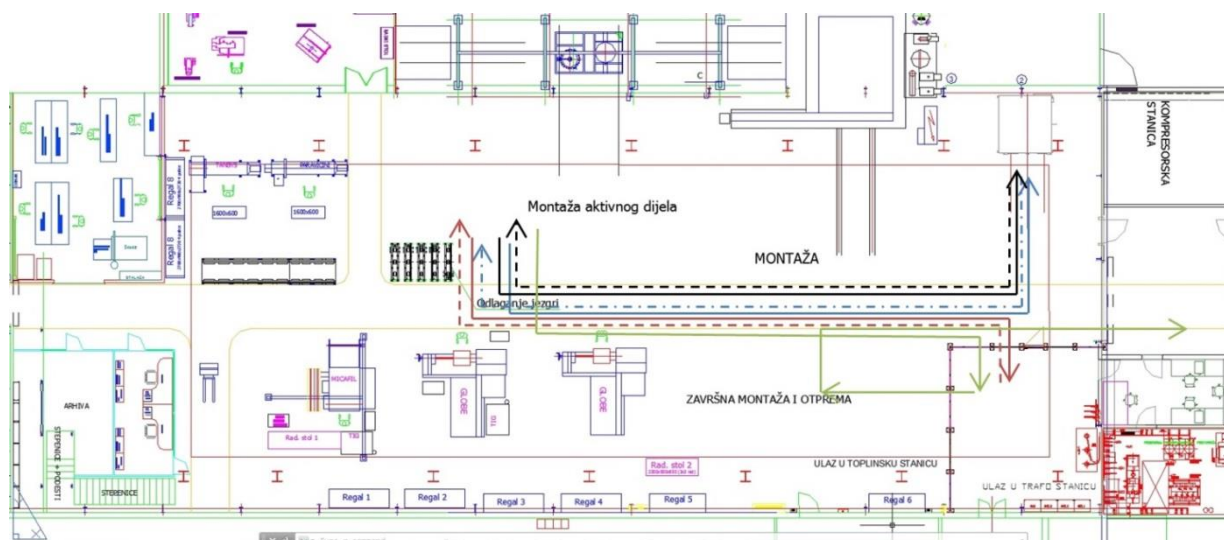
Vrijeme namatanja predstavničkih transformatora prikazana su tablicom 8. U tablici je naveden stroj na kojem se vrši namatanje, a vremena se odnose na sve namote jednog transformatora.

Tablica 8. Vremena namatanja predstavničkih suhih transformatora. [26]

| Broj dijela transformatora | Naziv transformatora | Naziv dijela | Stroj za namatanje | Vrijeme izrade pojedine vrste namota, sati | Ukupno vrijeme izrade namota po transformatoru, sati |
|----------------------------|----------------------|--------------|--------------------|--|--|
| CT 1509                    | 6TBS 630-24B         | NAMOT NN     | MICAFIL            | 5,9  | 67,50  |
|                            |                      | NAMOT VN     | GLOBE              | 61,6                                       |  |
|                            |                      | SVITAK A     | RK                 | 20,2                                       |  |
|                            |                      | SVITAK B     | RK                 | 29,8                                       |  |
|                            |                      | SVITAK R1    | RK                 | 5,8  |  |
|                            |                      | SVITAK R2    | RK                 | 5,8  |  |
| CT 1510                    | 6TBS 400-12x         | NAMOT NN     | MICAFIL            | 5,9  | 30,40  |
|                            |                      | NAMOT VN     | TANGYS             | 24,5                                       |  |

Slika 26. grafički prikazuje kretanja materijala opisano tablicom 7. Radi boljeg razumijevanja u nastavku je dat opis tokova materijala po kronološkom redu:

- plava puna linija - tok kretanja namota od prostora za montažu aktivnog dijela do električne peći gdje se vrši impregnacija namota (tokovi materijala označeni plavim crtama izvode se uvjetno, ovisno o potrebi za impregnacijom namota)
- plava crtkana linija - namoti se nakon impregnacije vraćaju do prostora za montažu aktivnog dijela
- crvena puna linija - tok kretanja materijala od prostora za montažu aktivnog dijela do ispitne stanice radi ispitivanja prijenosnog omjera
- crvena crtkana linija - tok kretanja materijala od ispitne stanice nazad do prostora za montažu aktivnog dijela
- crna puna linija - tok kretanja transformatora od prostora za montažu aktivnog dijela do električne peći gdje se vrši sušenje transformatora
- crna crtkana linija - nakon sušenja transformatori se od električne peći vraćaju do prostora za montažu aktivnog dijela
- zelene linije - tokovi materijala od prostora za montažu aktivnog dijela do ispitne stanice. Nakon obavljenih ispitivanja transformator odlazi do prostora predviđenog za završnu motažu te nakon završenih svih potrebnih radnji na red dolazi otprema transformatora.



Slika 26. Tokovi materijala- suhi transformatori.

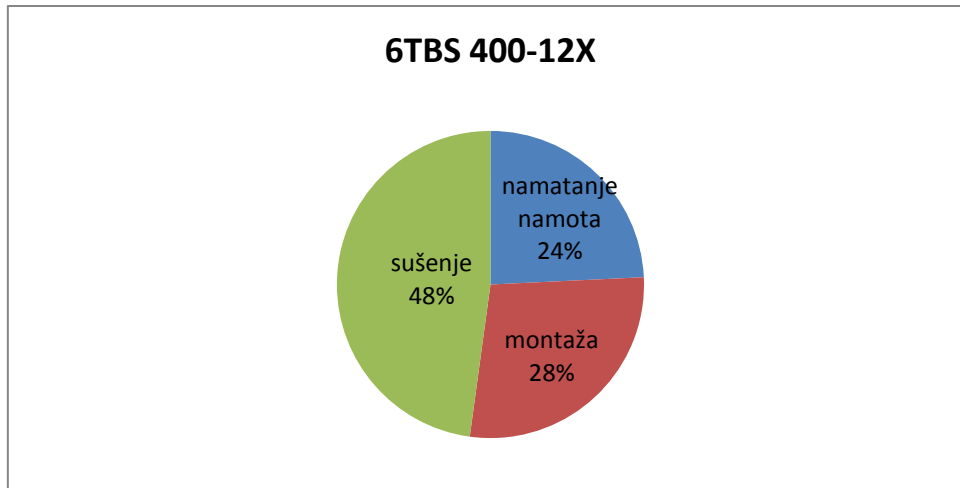
Kao što se vidi iz tablice 7. unutar Hale 4 izvode se slijedeće operacije važne za izradu transformatora:

- namatanje namota
- impregnacija namota (po potrebi)
- montaža
- sušenje
- ispitivanje.

Na idućim grafikonima prikazana je postotna raspodjela vremena utrošenog na montažu, izradu namota te sušenje izabranih predstavničkih transformatora.

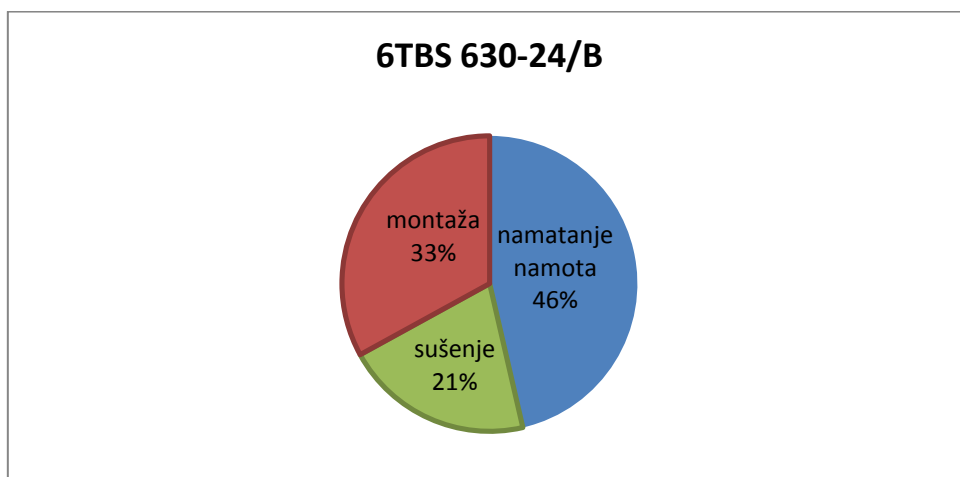
Za montažu transformatora 6TBS 400-12X u Hali 4 potrebno je 35 sati, za sušenje 60 sati te za namatanje namota potrebno je 30,4 sati. Kao što je prikazano u tablici 8. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na strojevima Micafil i Tangys, namataju se dvije vrste namota: NN namot na stroju Micafil te VN namot na stroju Tangys.





Slika 27. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 6TBS 400-12X u Hali 4.

Za montažu transformatora 6TBS 630-24/B u Hali 4 potrebno je 30 sati, za sušenje 48 sati te za namatanje namota 67,5 sati. Kao što je prikazano u tablici 8. izrada namota transformatora CT1509 je kompleksnija od izrade namota transformatora CT1510 što se očituje većim postotkom ukupnog utrošenog vremena na namatanje namota. NN namot se izrađuje na stroju Micafil a VN namot na stroju Globe. Također potrebno je izraditi svitke koji dolaze gotovi iz Hale 1.



Slika 28. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 6TBS 630-24/B u Hali 4.

## 7.4. Tehnološki proces montaže specijalnih transformatora

Ovim procesom obuhvaćeni su sljedeći predstavnički transformatori oznake:

- ABN 6000-12x
- TBN 2500-12/A
- MBN 50-38/C
- MON 1000-36x
- TON 2500-24/B
- TBN 1600-12/B
- TBN 1700-12/C
- TBN 290-24X/H
- TBN 1900-36
- MOZ 1510-27,5.

Tehnologija montaže navedenih tipova transformatora zasniva se na sljedećim operacijama (Tablica 9.) uz uporabu alata i pomoćne opreme prilikom montaže. Montaža specijalnih transformatora ukratko se sastoji od sljedećih operacija:

- Montaže aktivnog dijela
- Ispitivanja prijelaznog otpora
- Sušenja aktivnog dijela
- Utopa
- Vakumiranja i punjenja uljem
- Završne montaže
- Ispitivanja transformatora.

Prijelazni otpor se javlja pri dodiru dva različita materijala, kada se na mjestu kontakta javlja otpor stjenke. Izaziva lokalno pregrijavanje koje može uzrokovati termička naprezanja i stvara gubitke.

Uz ispitivanje prijelaznog otpora prilikom montaže vrši se i ispitivanje prijenosnog omjera transformatora. Prijenosni omjer transformatora je omjer nazivnih napona, izražen njihovim iznosima, bez kraćenja razlomka. Izlazni nazivni napon je onaj napon koji se dobiva na stezaljkama neopterećenog transformatora, kad je na ulaznim stezaljkama priključen nazivni

napon nazivne frekvencije. Tolerancija stvarne vrijednosti prijenosnog omjera od vrijednosti na natpisnoj pločici je 0,5 %. [28]

Tablica 9. Tehnološki proces montaže specijalnih transformatora. [26]

| R.Br. | Faza montaže  | Potreban alat i oprema  |
|-------|---|---|
| 1.    | Dopremiti jezgru na mjesto montaže  | baterijski ili ručni paletni viličar                          |
| 2.    | Demontirati (navojnike, gornje steznike, gornji jaram)  | ručni alat  |
| 3.    | Postaviti ležišta namota  |   |
| 4.    | Spustiti namote na stupove jezgre<br>Napomena: prethodno tlačiti namot na preši u Hali 1, lađa F prema dokumentaciji ukoliko je potrebno  | naprava za podizanje namota, preša u Hali 1, lađa F           |
| 5.    | Ukliniti namote na jezgru prema dokumentaciji   | ručni alat  |
| 6.    | Uložiti gornji jaram  |   |
| 7.    | Postaviti i stegnuti gornje steznike  | ručni alat  |
| 8.    | Postaviti i stegnuti navojnike<br>Napomena: postaviti visinu matica navojnika prema dokumentaciji   | pneumatski alat   |
| 9.    | Postaviti izolaciju   | ručni alat  |
| 10.   | Spojiti NN priključke<br>- postaviti zvjezdište<br>- stegnuti vijke   | ručni alat  |
| 11.   | Spojiti VN priključke<br>- spojiti preklopku<br>- tvrdo zalemiti spojeve i bandažirati ih   | ručni alat, uređaj za zavarivanje acetilen/kisik              |
| 12.   | Ispitati prijenosni omjer   | mjerna oprema   |
| 13.   | Sušenje   |   |
| 14.   | Na poklopac postaviti provodne izolatore  | mosni kran, stalak za odlaganje poklopaca i montažu izolatora |
| 15.   | Postaviti poklopac na navojnike   | mosni kran  |
| 16.   | Spojiti provodne izolatore  |   |
| 17.   | Postaviti brtvu   |   |
| 18.   | Aktivni dio postaviti u kotao   | mosni kran  |
| 19.   | Stegnuti poklopac – vijčani spojevi   | pneumatski alat   |
| 20.   | Postaviti opremu (konzervator, zaštitna kutija, plinski relej, sušionik zraka, magnetski uljokaz, natpisna pločice, označne pločice, vijci, čepovi, podloške, ...<br>Napomena: oprema prema dokumentaciji | mosni kran<br>pneumatski alat                                 |
| 21.   | Vakimirati i napuniti uljem transformator   |   |
| 22.   | Ispitati transformator u ispitnoj stanici   | mjerna oprema   |
| 23.   | Pripremiti transformator za otpremu   | dizalica, ručni alat  |

Pomoćna oprema prilikom montaže je klupica ili radionička kolica za odlaganje materijala.

Vrijeme namatanja predstavničkih transformatora prikazana su tablicom (Tablica 10.). U tablici je naveden stroj na kojem se vrši namatanje, a vremena se odnose na sve namote jednog transformatora.

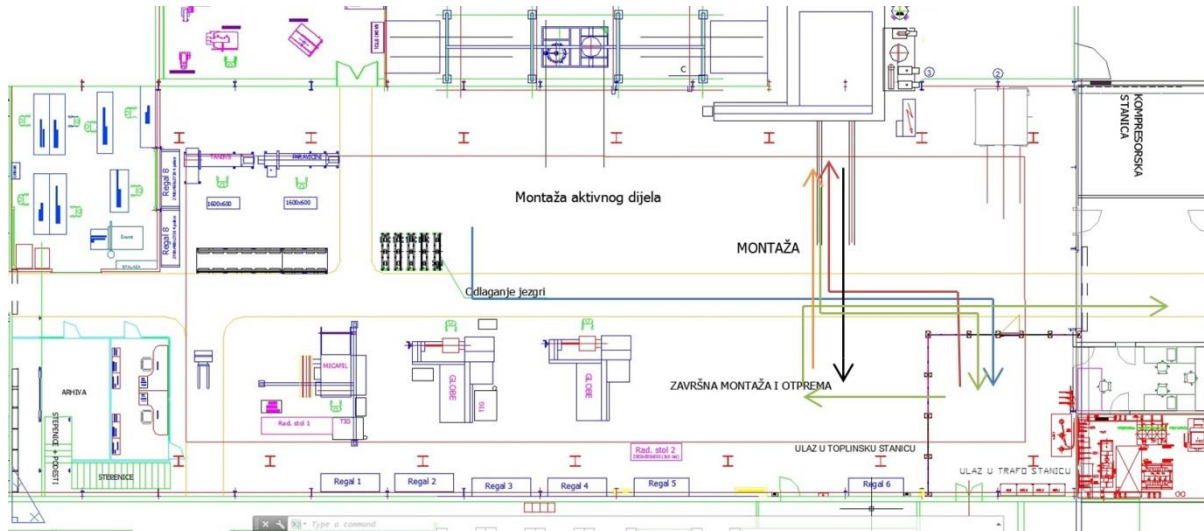
Tablica 10. Vremena namatanja predstavničkih specijalnih transformatora. [26]

| Broj dijela transformatora | Naziv transformatora      | Naziv dijela       | Stroj za namatanje | Vrijeme izrade pojedine vrste namota, sati | Ukupno vrijeme izrade namota po transformatoru, sati |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--|--|
| CT 1014                    | ABN 6000-12X/H            | NAMOT              | TANGYS             | 17,35                                      | 17,35  |
| CT 1220/3                  | TBN 1700-12/C             | NAMOT VN1          | GLOBE              | 10,6                                       | 36,6   |
|                            |                           | TERCIJALNI NAMOT   | TANGYS             | 5,8  |  |
|                            |                           | NAMOT NN           | MICAFIL            | 4,4  |  |
|                            |                           | NAMOT VN2          | TANGYS             | 15,8                                       |  |
| CT 1226                    | AKTIVNI DIO TON 2500-24/B | NAMOT NN           | MICAFIL            | 3,5  | 24,20  |
|                            |                           | NAMOT VN1          | GLOBE              | 9,1  |  |
|                            |                           | NAMOT VN2          | TANGYS             | 11,6                                       |  |
| CT 1348                    | TBN 290-24X/H             | NAMOT NN           | TANGYS             | 3,4  | 22,40  |
|                            |                           | NAMOT VN1          | RK                 | 9,5  |  |
|                            |                           | SEKCIJA NAMOTA "1" | RK                 |  |  |
|                            |                           | SEKCIJA NAMOTA "2" | RK                 |  |  |
|                            |                           | NAMOT VN2          | RK                 | 9,5  |  |
|                            |                           | SEKCIJA NAMOTA "1" | RK                 |  |  |
| CT 1394/1                  | TBN 1600-12/B             | NAMOT VN1          | GLOBE              | 10,6                                       | 36,60  |
|                            |                           | TERCIJALNI NAMOT   | TANGYS             | 5,8  |  |
|                            |                           | NAMOT NN           | MICAFIL            | 4,4  |  |
|                            |                           | NAMOT VN2          | TANGYS             | 15,8                                       |  |
| CT 1038                    | MBN 50-38/C               | NAMOT NN           | TANGYS             | 2,6  | 7,80   |
|                            |                           | SVITAK "D"         | RK                 | 2,6  |  |
|                            |                           | SVITAK "Q"         | RK                 | 2,6  |  |
| CT 1532                    | MON 1000-36X              | NAMOT NN "2.2"     | GLOBE              | 9  | 29,00  |
|                            |                           | NAMOT NN "3"       | GLOBE              | 9  |  |
|                            |                           | NAMOT VN           | GLOBE              | 11   |  |
| ST 0012                    | MOZ 1510-27,5             | NAMOT              | GLOBE              | 64   | 64   |
| CT 1293                    | TBN 2500-12/A             | NAMOT NN1          | MICAFIL            | 8  | 34,10  |
|                            |                           | NAMOT VN           | TANGYS             | 16,9                                       |  |
|                            |                           | NAMOT NN2          | MICAFIL            | 9,2  |  |
| CT1395                     | TBN1900-36                | NAMOT VN1          | GLOBE              | 17,2                                       | 45,40  |
|                            |                           | TERCIJALNI NAMOT   | GLOBE              | 5,8  |  |
|                            |                           | NAMOT NN           | MICAFIL            | 4,0  |  |
|                            |                           | NAMOT VN2          | GLOBE              | 18,4                                       |  |

Slika 29. grafički prikazuje kretanja materijala opisano tablicom 9. Radi boljeg razumijevanja u nastavku je dat opis tokova materijala po kronološkom redu:

- plava linija - tok kretanja materijala od prostora za montažu aktivnog dijela do ispitne stanice radi ispitivanja prijenosnog omjera
- crvena linija - tok materijala od ispitne stanice do peći za sušenje
- crna linija - tok materijala od peći za sušenje do mjesta predviđenog za završnu montažu
- narančasta linija - tok materijala od mjesta za završnu montažu do mjesta predviđenog za vakuumiranje i punjenje uljem (ovisno o konstrukciji transformatora taj se dio obavlja izvan ili unutar peći)

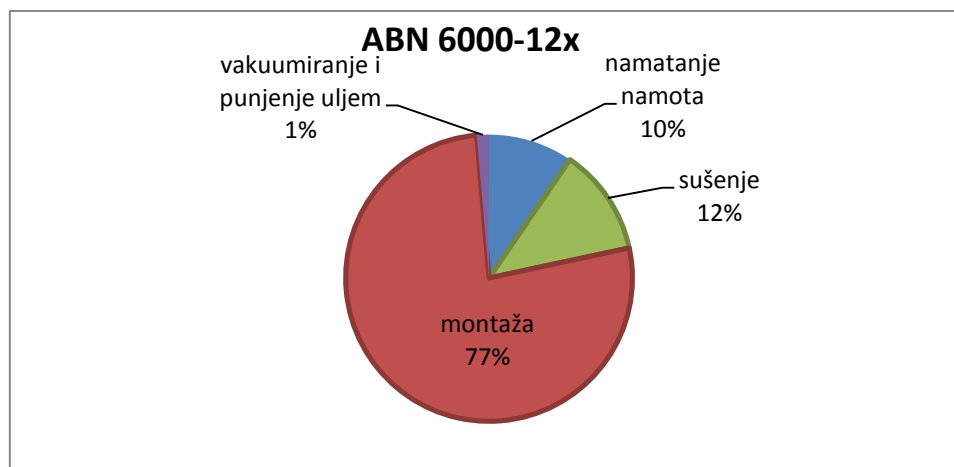
- zelene linije - nakon vakuumiranja i punjenja uljem transformator odlazi do ispitne stanice. Po završetku ispitivanja transformator se priprema za otpremu te slijedi otprema.



Slika 29. Tokovi materijala- specijalni transformatori.

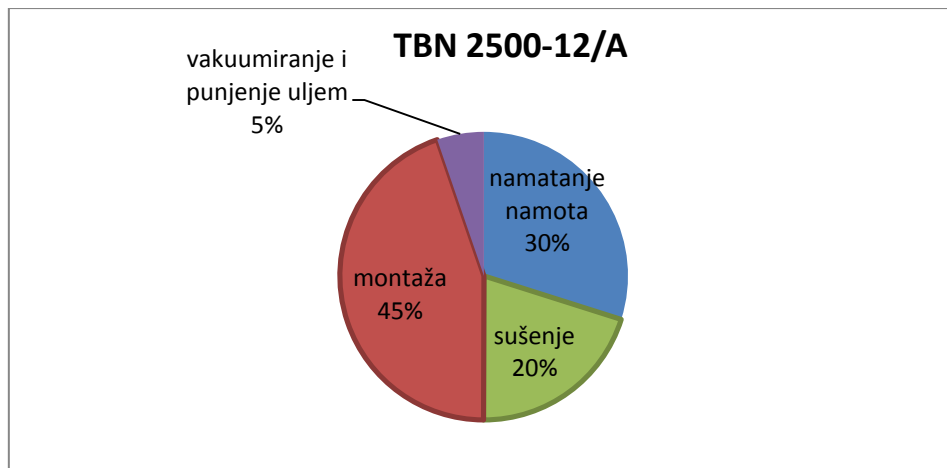
Na idućim grafikonima prikazana je postotna raspodjela vremena utrošenog na montažu, izradu namota te sušenje izabranih predstavničkih transformatora.

Za montažu transformatora ABN 6000-12x u Hali 4 potrebno je 140 sati, za sušenje 22 sata, za namatanje namota potrebno je 17,35 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 2,5 sati. Kao što je prikazano u tablici 10. Namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Tangys.



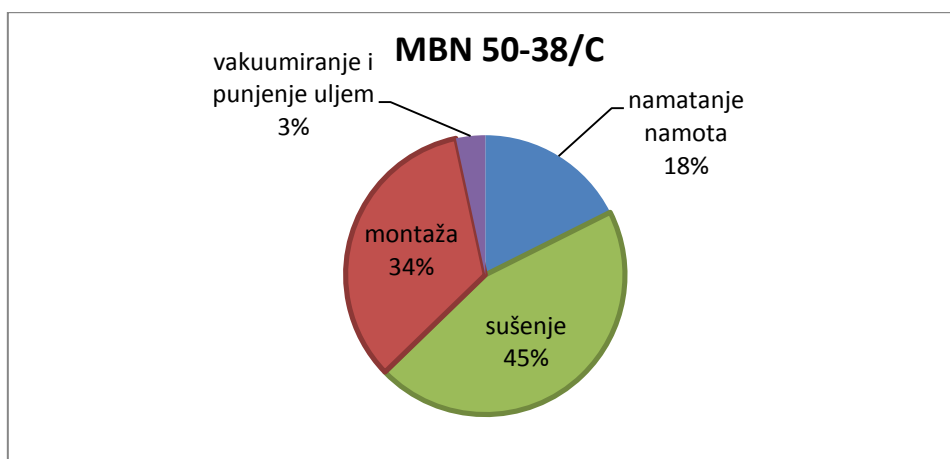
Slika 30. Grafički prikaz vremena izrade transformatora ABN 6000-12x u Hali 4.

Za montažu transformatora TBN 2500-12/A u Hali 4 potreban je 51 sat, za sušenje 23 sata, za namatanje namota potrebno je 34,1 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 6 sati. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na strojevima Tangys i Micafil.



Slika 31. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 2500-12/A u Hali 4.

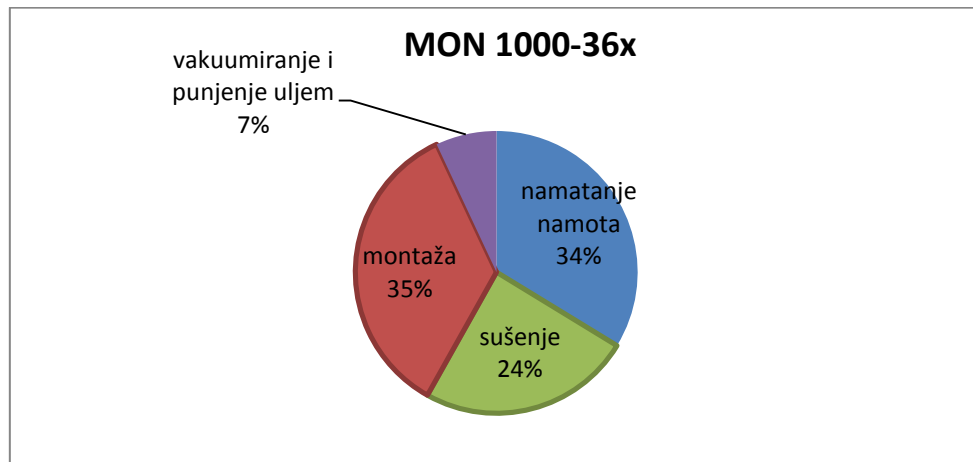
Za montažu transformatora MBN 50-38/C u Hali 4 potrebno je 15 sati, za sušenje 20 sati, za namatanje namota potrebno je 7,8 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 1,5 sati. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Tangys te je potrebno izraditi posebne sekcije namota koje golate gotove iz Hale 1.



Slika 32. Grafički prikaz vremena izrade transformatora MBN 50-38/C u Hali 4.

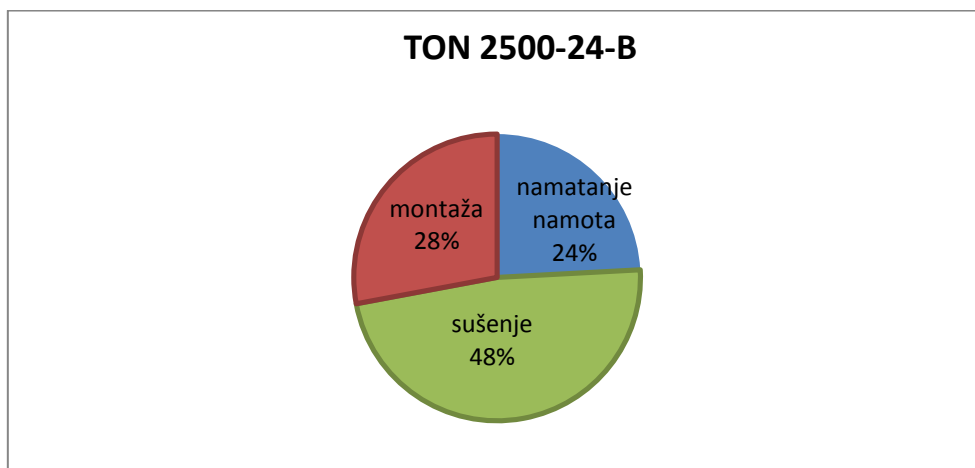
Za montažu transformatora MON 1000-36x u Hali 4 potrebno je 30 sati, za sušenje 21 sat, za namatanje namota potrebno je 29 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 6 sati. Kao što je

prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Globe.



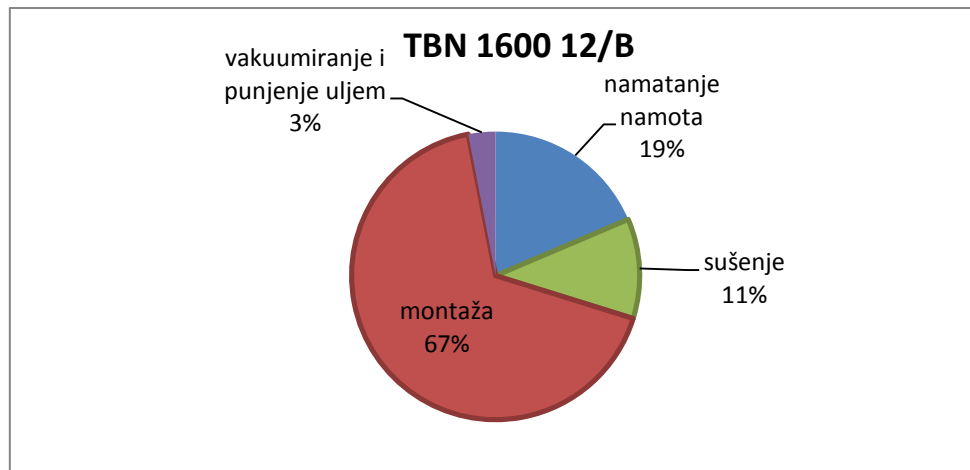
Slika 33. Grafički prikaz vremena izrade transformatora MON 1000-36x u Hali 4.

Za montažu transformatora TON 2500-24-B u Hali 4 potrebno je 28 sati, za sušenje 48 sati te za namatanje namota potrebno je 24,2 sata. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na strojevima Globe, Micafil i Tangys.



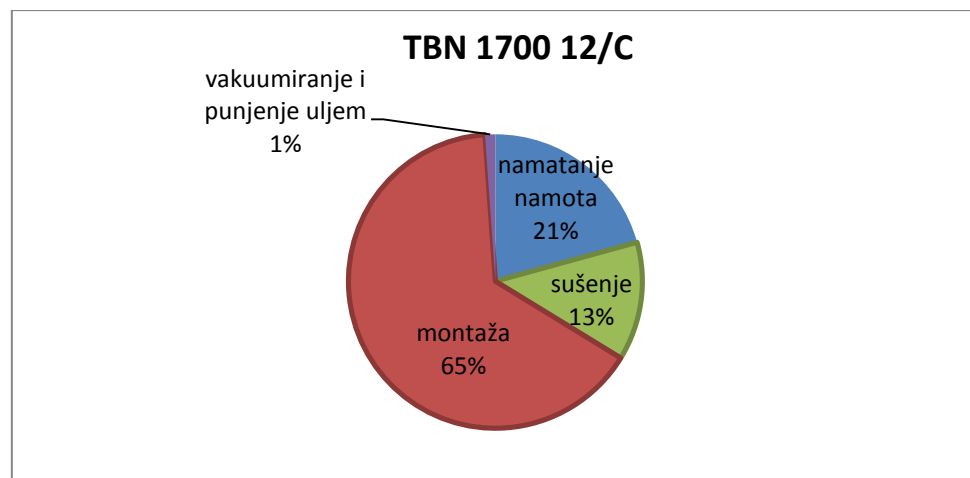
Slika 34. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TON 2500-24-B u Hali 4.

Za montažu transformatora TBN 1600 12/B u Hali 4 potrebno je 132 sata, za sušenje 22 sata, za namatanje namota potrebno je 36,6 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 6 sati. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na strojevima Tangys, Globe i Micafil.



Slika 35. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 1600 12/B u Hali 4.

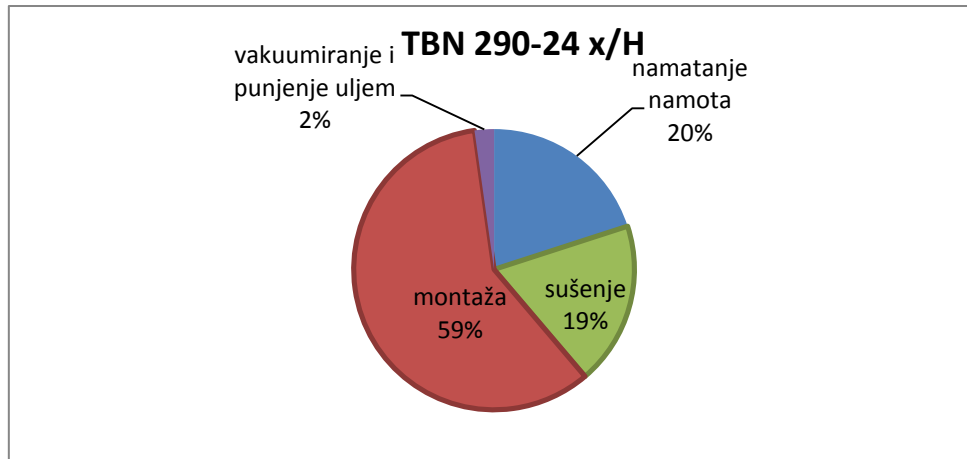
Za montažu transformatora TBN 1700 12/C u Hali 4 potrebno je 115 sati, za sušenje 23 sata, za namatanje namota potrebno je 36,6 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 2 sata. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na strojevima Tangys, Globe i Micafil.



Slika 36. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 1700 12/C u Hali 4.

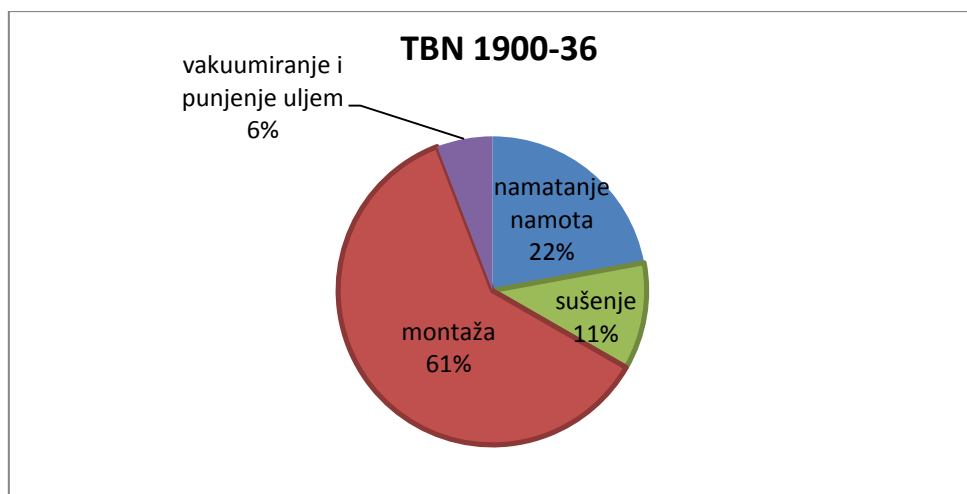
Za montažu transformatora TBN 290-24 x/H u Hali 4 potrebno je 66 sati, za sušenje 21 sat, za namatanje namota potrebno je 22,4 sata te za vakuumiranje i punjenje uljem 2,5 sati. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Tangys te je potrebno izraditi posebne sekcije namota koje dolaze gotove iz Hale 1.





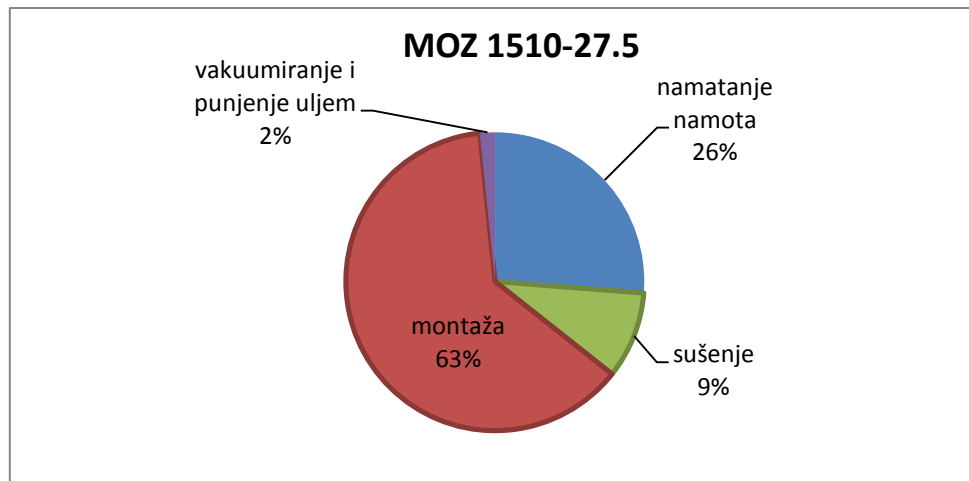
Slika 37. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 290-24 x/H u Hali 4.

Za montažu transformatora TBN 1900-36 u Hali 4 potrebno je 125 sati, za sušenje 23 sata, za namatanje namota potrebno je 45,4 sata te za vakuumiranje i punjenje uljem 12 sati. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na strojevima Globe i Micafil.



Slika 38. Grafički prikaz vremena izrade transformatora TBN 1900-36 u Hali 4.

Za montažu transformatora MOZ 1510-27.5 u Hali 4 potrebno je 153 sata, za sušenje 23 sata, za namatanje namota potrebno je 64 sata te za vakuumiranje i punjenje uljem 4 sata. Kao što je prikazano u tablici 10. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Globe.



Slika 39. Grafički prikaz vremena izrade transformatora MOZ 1510-27.5 u Hali 4.

### 7.5. Tehnološki proces montaže prigušnica

Prigušnice spadaju u podgrupu specijalnih transformatora. Ovim procesom obuhvaćeni su sljedeći predstavnički transformatori tipne oznake:

- 2Pe430-7-12/150
- 2Pe4500-12/750.

Tehnologija montaže navedenih tipova transformatora zasniva se na sljedećim operacijama (Tablica 11.) uz uporabu alata i pomoćne opreme prilikom montaže. Pomoćna oprema prilikom montaže je klupica ili radionička kolica za odlaganje materijala.

Tablica 11. Tehnološki proces montaže prigušnica. [26]

| R.Br. | Faza montaže   | Potreban alat i oprema                       |
|-------|--|--|
| 1.    | Dopremiti jezgru na mjesto montaže i postaviti je na klupicu   | baterijski ili ručni paletni viličar         |
| 2.    | Montirati jezgru na okvir i podlogu  | ručni alat                                   |
| 3.    | Postaviti u prozor jezgre podloge  |  |
| 4.    | Namot koji je pripremljen za montažu postaviti u prozor jezgre.<br>Napomena, priprema namota za montažu: postaviti namot na podloge namota | naprava za podizanje namota, mosni kran      |
| 5.    | Postaviti prednji okvir  | ručni alat                                   |
| 6.    | Postaviti i stegnuti navojnike s izolacijom  | pneumatski alat                              |
| 7.    | Postaviti stezni komplet<br>Napomena: završetak trake zapeglati  | ručni alat                                   |
| 8.    | Motirati strujni transformator<br>Napomena: prethodno pričvrstiti ploče  | ručni alat                                   |
| 9.    | Postaviti priključke (preklopke)   | naprava za odlaganje užadi DA/NE, ručni alat |

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 10. | Postaviti užad  | ručni alat za uprešavanje užadi                         |
| 11. | Na poklopac postaviti provodne izolatore  | radno mjesto za odlaganje poklopaca i montažu izolatora |
| 12. | Postaviti poklopac na okvir   | dizalica  |
| 13. | Spojiti priključke i bandažirati spojeve  | uređaj za zavarivanje acetilen/kisik                    |
| 14. | Ispitati prijenosni omjer   |   |
| 15. | Staviti u peć na sušenje  |   |
| 16. | Pritegnuti sve vijčane spojeve i postaviti duple matice na vijke ispod poklopca | ručni alat  |
| 17. | Postaviti brtvu   |   |
| 18. | Postaviti aktivni dio u kotao   | mosni kran, ručni alat                                  |
| 19. | Stegnuti poklopac   | pneumatski alat   |
| 20. | Postaviti i priključiti opremu prema dokumentaciji                              | ručni alat  |
| 21. | Vakumirati, napuniti uljem  |   |
| 22. | Ispitati transformator u ispitnoj stanici                                       | mjerna oprema   |
| 22. | Otpremiti transformator u prostor predviđen za završnu montažu i otpremu        | mosni kran, alat  |

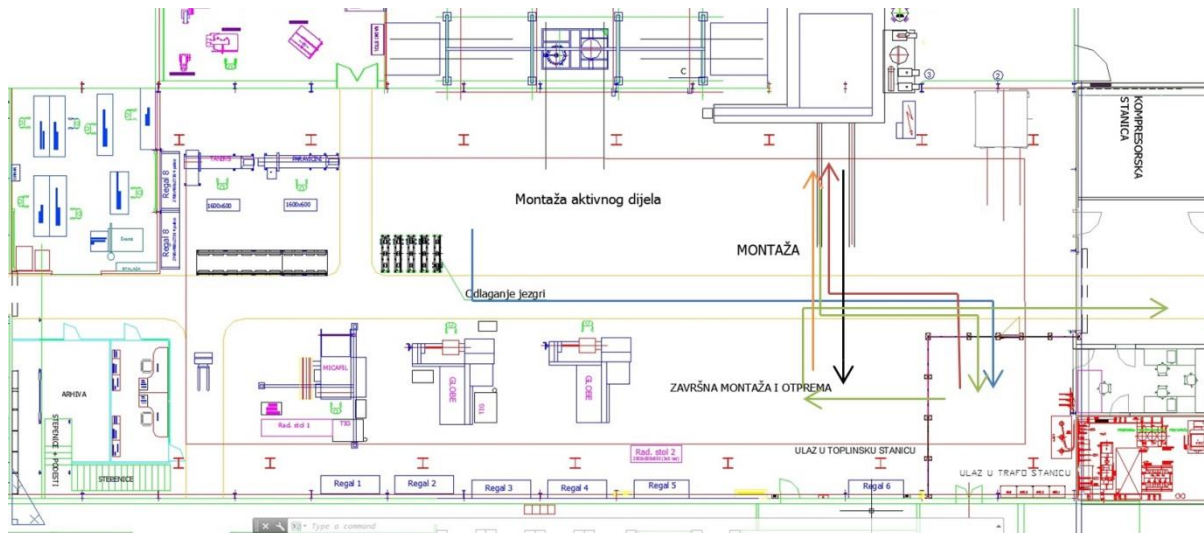
Vrijeme namatanja predstavničkih transformatora prikazana su tablicom (Tablica 12.). U tablici je naveden stroj na kojem se vrši namatanje, a vremena se odnose na sve namote jednog transformatora.

Tablica 12. Vremena namatanja predstavničkih prigušnica. [26]

| Broj dijela transformatora | Naziv transformatora | Naziv dijela | Stroj za namatanje | Vrijeme izrade pojedine vrste namota, sati | Ukupno vrijeme izrade namota po transformatoru, sati |
|----------------------------|----------------------|--------------|--------------------|--|--|
| CT 1249                    | 2PE 430-7-12/150     | NAMOT        | GLOBE              | 3  | 3,00   |
| CT 1511                    | 2PE 4500-12/750      | NAMOT        | GLOBE              | 4,2  | 4,20   |

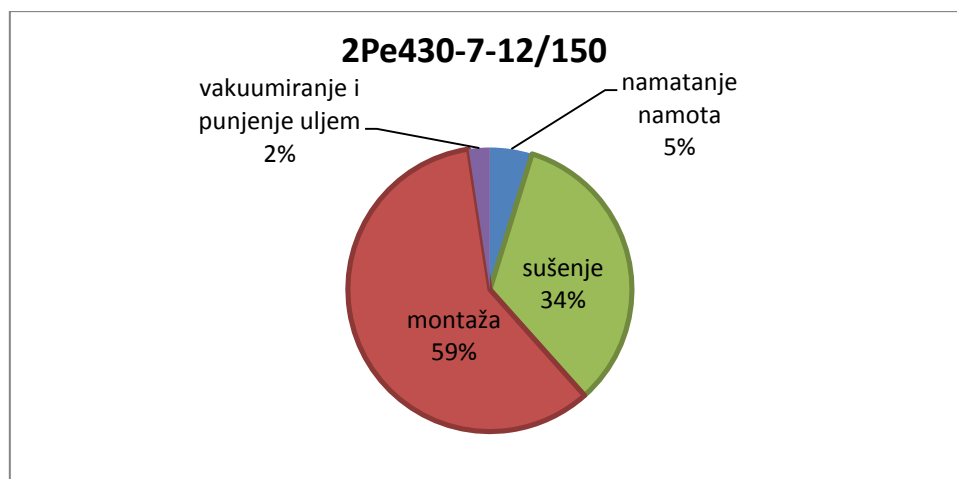
Slika 40. grafički prikazuje kretanja materijala opisano tablicom 9. Radi boljeg razumijevanja u nastavku je dat opis tokova materijala po kronološkom redu:

- plava linija - tok kretanja materijala od prostora za montažu aktivnog dijela do ispitne stanice radi ispitivanja prijenosnog omjera
- crvena linija - tok materijala od ispitne stanice do peći za sušenje
- crna linija - tok materijala od peći za sušenje do mjesta predviđenog za završnu montažu
- narančasta linija - tok materijala od mjesta za završnu montažu do mjesta predviđenog za vakuumiranje i punjenje uljem (ovisno o konstrukciji transformatora taj se dio obavlja izvan ili unutar peći)
- zelene linije - nakon vakuumiranja i punjenja uljem transformator odlazi do ispitne stanice. Po završetku ispitivanja transformator se priprema za otpremu te slijedi otprema.



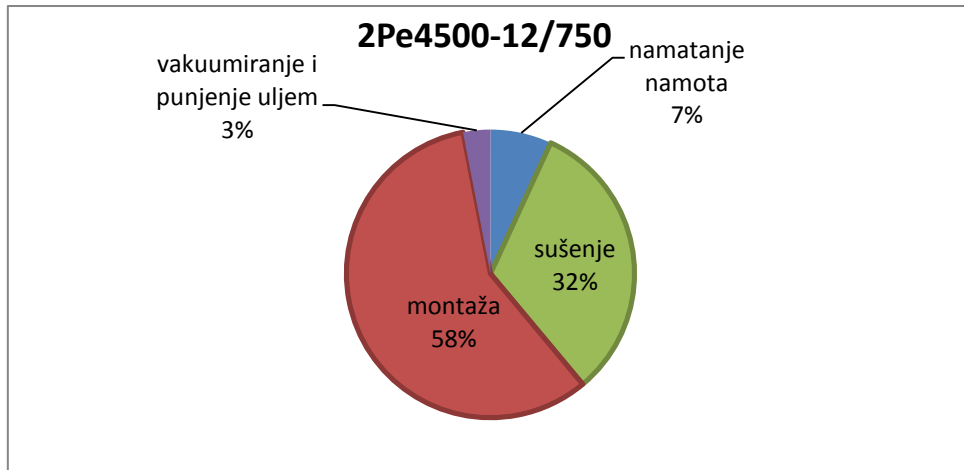
Slika 40. Tokovi materijala- prigušnice.

Za montažu transformatora 2Pe430-7-12/150 u Hali 4 potrebno je 37 sati, za sušenje 21 sat, za namatanje namota potrebno je 3 sata te za vakuumiranje i punjenje uljem 1,5 sati. Kao što je prikazano u tablici 11. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Globe.



Slika 41. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 2Pe430-7-12/150 u Hali 4.

Za montažu transformatora 2Pe4500-12/750 u Hali 4 potrebno je 38 sati, za sušenje 21 sat, za namatanje namota potrebno je 4,5 sati te za vakuumiranje i punjenje uljem 2 sata. Kao što je prikazano u tablici 11. namot potreban za izradu odabranog transformatora izrađuje se na stroju Globe.



Slika 42. Grafički prikaz vremena izrade transformatora 2Pe4500-12/750 u Hali 4.

## 8. METODA TROKUTA

---

U ovom poglavlju analizirat će se postojeći raspored elemenata sustava u svrhu provjere prikladnosti trenutnog rasporeda u odnosu na idealni. Uz analizu trenutnog stanja dat će se i prijedlozi novog rasporeda sustava sukladno rezultatima dobivenih metodom trokuta.

Osnova za dodjeljivanje elemenata proizvodnog sustava jest matrica transportnog intenziteta i mrežni trokut lokacija. Mrežnu tvori neograničeni broj istostraničnih trokuta na čijim su vrhovima čvorovi koji predstavljaju potencijalne lokacije dodjeljivanja. [3]

Mrežni trokut lokacija razvio je 1950. godine Bloch. Cilj Blochova postupka jest rasporediti elemente sustava po kriteriju minimalnih transportnih udaljenosti. H. Schmigalla unaprjeđuje metodu trokuta i naziva ju modificiranim postupkom trokuta. Za funkciju cilja uzima se minimalni transportni učinak sustava:

$$f_c = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m b_{kj} \times s_{kj} \rightarrow \min.$$

pri čemu su:

$b_{kj}$  – intenzivnost toka materijala između k-tog i j-tog elementa sustava

$s_{kj}$  – udaljenost između lokacija k-tog i j-tog elementa sustava (jednaka je sumi dužina stranica istostraničnih trokuta modela lokacija) [3]

Osnovno ograničenje je da jednoj lokaciji može biti pridružen samo jedan element sustava i obrnuto. Polazna hipoteza H. Schmigalla je da će minimalni transportni učinak sustava biti postignut ako se prvo osigura raspoređivanje elemenata sa najvećim intenzitetom toka materijala neovisno o njegovu smjeru. Tako se osigurava da elementi s najvećim utjecajem na funkciju cilja budu raspoređeni na međusobno najpovoljnije lokacije. [3]

Da bi se napravila matrica toka materijala potrebno je izvršiti proračun. Proračun toka materijala vrši se na temelju podataka o proizvodnom programu, sastavnica, planova izrade i planova montaže. tok izrade proračuna izrađuje se slijedeći slijedeće točke:

- proizvodi se raščlanjuju na sklopove i dijelove (predmete rada)
- određuje se ukupan broj sklopova i dijelova za promatrano plansko razdoblje

- definiraju se sredstva za odlaganje za svaki predmet rada
- za svaki predmet rada proračuna se potreban broj transporta za prijevoz jedne serije  $i$ -tog predmeta rada. Broj transporta računa se prema formuli:

$$n_{Oli} = \frac{Q_{Si}}{Q_{POi}} \times \frac{1}{Q_{TSi}} .$$

gdje su:

$Q_{Si}$  - veličina serije  $i$ -tog predmeta rada

$Q_{POi}$  - broj predmeta rada u jednom sredstvu za odlaganje

$Q_{TSi}$  - broj sredstava za odlaganje  $i$ -tog predmeta rada koji se prevoze u jednoj vožnji

- proračuna se intenzivnost toka materijala izražena brojem transporta u planskom razdoblju između  $k$ -tog i  $j$ -tog elementa sustava. Računa se tako da se broj transporta pomnoži sa brojem serija
- ukupan transportni intenzitet u planskom razdoblju između  $k$ -tog i  $j$ -tog elementa sustava dobiva se sumiranjem intenziteta transporta za sve predmete rada koji se transportiraju između tih elemenata sustava. [3]

Nakon provedenog proračuna može se pristupiti crtanju matrice toka materijala. Brojevi unutar matrice predstavljaju transportne intenzitete od  $k$ -tog prema  $j$ -tom elementu sustava. Kako svaki element sustava može biti izvorna ili ciljana točka kretanja materijala matrica je kvadratnog oblika. Redosljed elemenata po stupcima odgovara onome po redovima.

Orijentirana matrica toka materijala Hale 1 dobivena nakon provedenog proračuna prikazana je tablicom 13.

Matrica se naziva orijentiranom jer pokazuje smjer toka materijala. Transformacija orijentirane matrice u neorijentiranu trokutnu matricu izvodi se tako da se svi elementi matrice ispod (iznad) dijagonale pribroje elementima koji leže simetrično iznad (ispod) glavne dijagonale.

Prva dva elementa biraju se po kriteriju maksimalne transportne intenzivnosti. Ako postoji više parova jednake i maksimalne intenzivnosti, odabire se par s većim brojem veza. [3]

Tablica 13. Orijentirana matrica toka materijala.

| DO<br>OD                        | GLOBE | TANGY<br>S | PARAVI<br>CINI | MICAFI<br>L | MONTA<br>ŽA AKT.<br>DIJ | PEĆ<br>SUŠENJ<br>E AKT.<br>DIJ. | EL.<br>SUŠAR<br>A | ZAV.<br>MON. I<br>OTP. | ISPITNA | VANJSK<br>O<br>PUNJEN<br>JE |
|---------------------------------|-------|------------|----------------|-------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|---------|-----------------------------|
| GLOBE                           |       |            |                |             | 16                      |                                 |                   |                        |         |                             |
| TANGY<br>S                      |       |            |                |             | 14                      |                                 |                   |                        |         |                             |
| PARAVI<br>CINI                  |       |            |                |             |                         |                                 |                   |                        |         |                             |
| MICAFI<br>L                     |       |            |                |             | 16                      |                                 |                   |                        |         |                             |
| MONTA<br>ŽA AKT.<br>DIJ         |       |            |                |             |                         |                                 | 76                |                        | 100     |                             |
| PEĆ<br>SUŠENJ<br>E AKT.<br>DIJ. |       |            |                |             |                         |                                 |                   | 40                     | 22      |                             |
| EL.<br>SUŠAR<br>A               |       |            |                |             | 24                      |                                 |                   |                        | 60      |                             |
| ZAV.<br>MON. I<br>OTP.          |       |            |                |             |                         | 22                              |                   |                        | 13      | 15                          |
| ISPITNA                         |       |            |                |             | 60                      | 40                              |                   | 90                     |         |                             |
| VANJSK<br>O<br>PUNJEN<br>JE     |       |            |                |             |                         |                                 |                   |                        | 15      |                             |

U neorijentiranoj matrici toka (Tablica 14.) materijala iščitava se da je par s maksimalnom transportnom intenzivnošću montaža aktivnog dijela - ispitna stanica, te će njima prvima biti dodijeljena mjesta u mreži trokuta. Idući elementi dodijeljeni u mrežu trokuta određeni su prema dolje navedenim pravilima.

Za svaki još neodijeljeni element potrebno je naći sume intenzivnosti toka materijala između neraspoređenih elemenata sustava s već raspoređenima. Kao sljedeći element dodjeljuje se onaj s najvećom sumom. Ako postoji više maksimalnih suma transportne intenzivnosti, dodjeljuje se element koji ima više veza s još neodijeljenim elementima. Ako je broj takvih veza jednak, raspoređuje se onaj element koji posjeduje više veza s već dodijeljenim elementima. Ako je pak i taj broj jednak izbor elemenata je proizvoljan. [3]

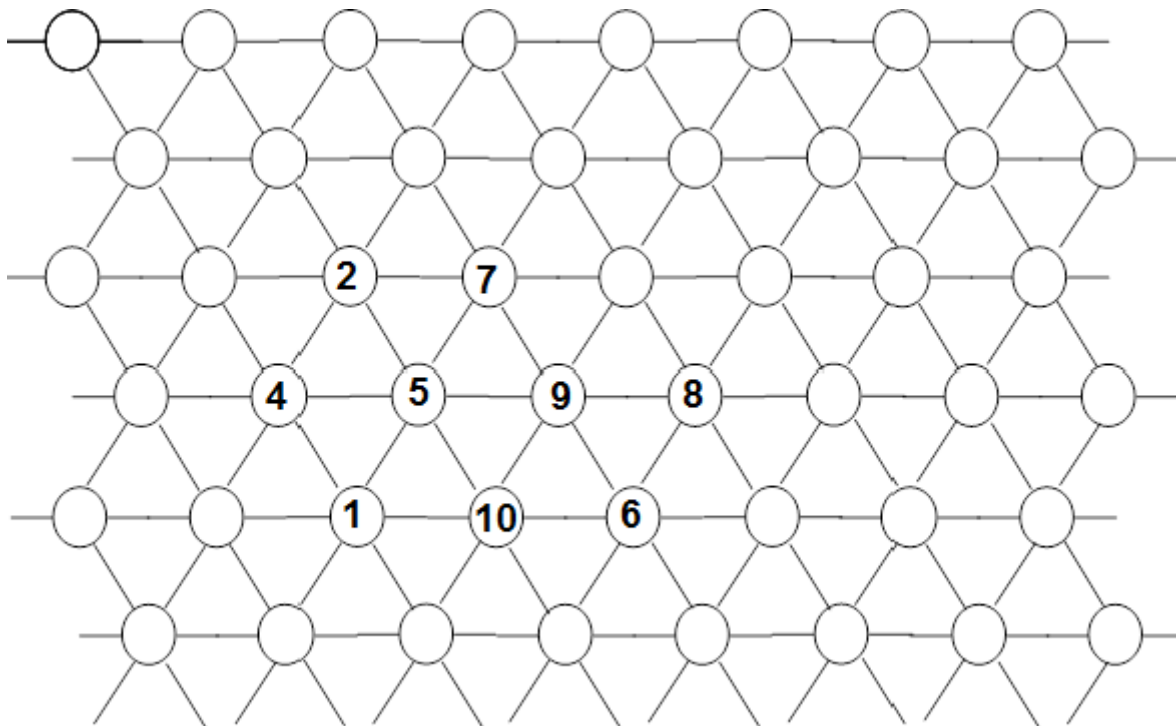


Tablica 14. Neorijentirana matrica materijala.

| DO<br>OD                | GLOBE  | TANGY<br>S | PARAVI<br>CINI | MICAFI<br>L | MONTA<br>ŽA AKT.<br>DIJ | PEĆ<br>SUŠENJ<br>E AKT.<br>DIJ. | EL.<br>SUŠAR<br>A | ZAV.<br>MON. I<br>OTP. | ISPITNA | VANJSK<br>O<br>PUNJEN<br>JE |
|-------------------------|--------|------------|----------------|-------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|---------|-----------------------------|
| 1.GLOBE                 |        |            |                |             | 16                      |                                 |                   |                        |         |                             |
| 2.TANGYS                |        |            |                |             | 14                      |                                 |                   |                        |         |                             |
| 3.PARAVICINI            |        |            |                |             |                         |                                 |                   |                        |         |                             |
| 4.MICAFIL               |        |            |                |             | 16                      |                                 |                   |                        |         |                             |
| 5.MONTAŽA AKT. DIJ      |        |            |                |             |                         |                                 | 100               |                        | 160     |                             |
| 6.PEĆ SUŠENJE AKT. DIJ. |        |            |                |             |                         |                                 |                   | 62                     | 62      |                             |
| 7.EL. SUŠAR A           |        |            |                |             |                         |                                 |                   |                        | 60      |                             |
| 8.ZAV. MON. I OTP.      |        |            |                |             |                         |                                 |                   |                        | 103     | 15                          |
| 9.ISPITNA A             |        |            |                |             |                         |                                 |                   |                        |         | 15                          |
| 10.VANJSKO PUNJENJE     |        |            |                |             |                         |                                 |                   |                        |         |                             |
| 5                       | 0      | 0          | 0              | 0           | x                       | 0                               | 100               | 0                      |         | 0                           |
| 9                       | 0      | 0          | 0              | 0           |                         | 0                               | 0                 | 0                      | x       | 15                          |
| Σ<br>7                  | 0      | 0          | 0              | 0           |                         | 0                               | 100<br>x          | 0                      |         | 15                          |
| Σ<br>10                 | 0      | 0          | 0              | 0           |                         | 0                               |                   | 0                      |         | 15<br>x                     |
| Σ<br>6                  | 0      | 0          | 0              | 0           |                         | 0<br>x                          |                   | 0                      |         |                             |
| Σ<br>8                  | 0      | 0          | 0              | 0           |                         |                                 |                   | 62<br>x                |         |                             |
| Σ<br>1                  | 0<br>x | 0          | 0              | 0           |                         |                                 |                   |                        |         |                             |
| Σ<br>4                  |        | 0          | 0              | 0           |                         |                                 |                   |                        |         |                             |
| Σ<br>2                  |        | 0<br>x     | 0              |             |                         |                                 |                   |                        |         |                             |
| Σ<br>3                  |        |            | 0<br>x         |             |                         |                                 |                   |                        |         |                             |

Na temelju rezultata dobivenih analizom neorijentirane matrice materijala modeliran je mrežni trokut model lokacija. Lokacija prva dva elementa po redosljedju dodjeljivanja je proizvoljna. Ostali elementi postavljaju se tako da uzrokovani transportni učinak bude minimalan.

Nakon odgovarajućeg smještaja elemenata na lokacije dobiven je grafički prikaz rasporeda elemenata u mrežni trokut lokacija (Slika 43.) te je izračunat minimalni transportni učinak  $f_c$ . Elementi unutar trokuta označeni su brojevima jednakim rednim brojevima pojavljivanja u neorijentiranoj matrici materijala (Tablica 14.). Iz razmatranja je izbačen stroj Paravichini zbog nepostojanja veza između njega i ostalih elemenata sustava (svojom radnim karakteristikama potpuno je jednak stroju Tangys koji svojim kapacitetom može preuzeti njegov dio posla).



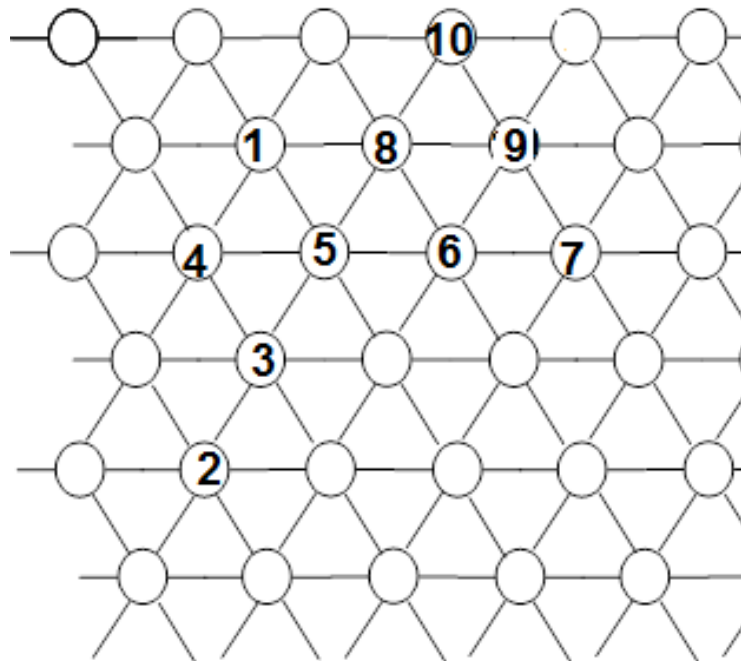
Slika 43. Mrežni trokut model lokacija

Transportni učinak sustava (funkcija cilja) iznosi:

$$f_c = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m b_{kj} \times s_{kj}$$

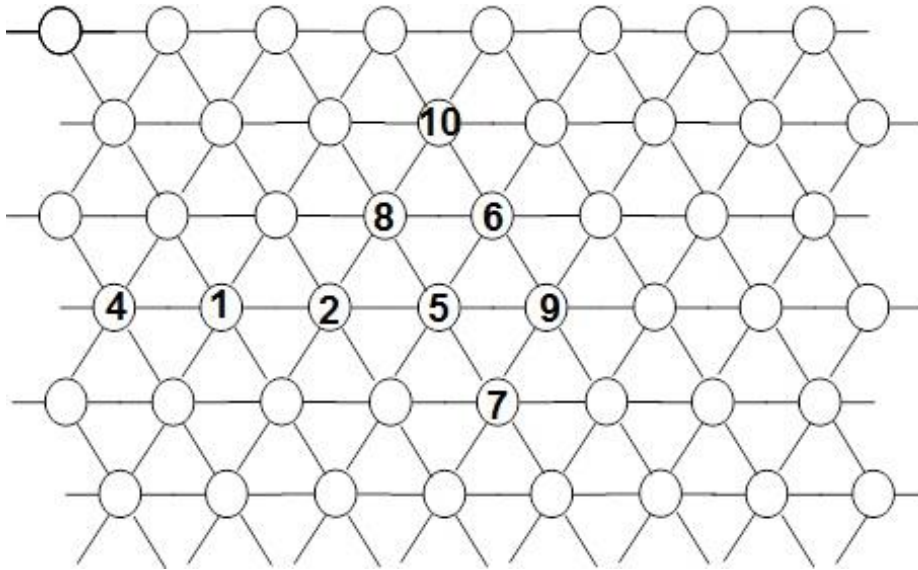
$$= 16 \times 1 + 14 \times 1 + 16 \times 1 + 100 \times 1 + 160 \times 1 + 62 \times 1 + 62 \times 1 + 60 \times 1 + 103 \times 1 + 15 \times 2 + 15 \times 1 = 638 \text{ [m/planski period].}$$

Funkcija cilja od 638 m/planskom periodu predstavlja poboljšanje od funkcije cilja dobivene sadašnjim rasporedom (Slika 44.) koja iznosi 897 m/planskom periodu.



Slika 44. Sadašnji raspored strojeva u mrežnom trokutu modelu lokacija.

Uzimajući u obzir projektna ograničenja da ispitna stanica i peći (električna i peć za sušenje aktivnog dijela) moraju ostati na sadašnjim pozicijama te izuzimajući stroj Paravichini iz procesa dobiva se raspored u mrežnom trokutu lokacija prikazan na slici 45.



Slika 45. Mrežni trokut model lokacija nakon primjene ograničenja.

Funkcija cilja u ovom slučaju iznosi:

$$\begin{aligned}
 f_c &= \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m b_{kj} \times s_{kj} \\
 &= 16 \times 1 + 14 \times 2 + 16 \times 3 + 100 \times 1 + 160 \times 1 + 62 \times 1 + 62 \times 1 + 60 \\
 &\quad \times 1 + 103 \times 2 + 15 \times 1 + 15 \times 2 = 787 \text{ [m/planski period]}.
 \end{aligned}$$

Dobivena je funkcija cilja od 787 m/ planskom periodu koja je povoljnija od sadašnje funkcije cilja od 897 m/ planskom periodu. Novi raspored lokacija prikazan je na slici 46.

U nastavku poglavlja pomoću modela metode trokuta izračunata je stvarna vrijednost unošenjem stvarne udaljenosti elemenata sustava po transportnom putu (umjesto jedinične udaljenosti stranica trokuta).

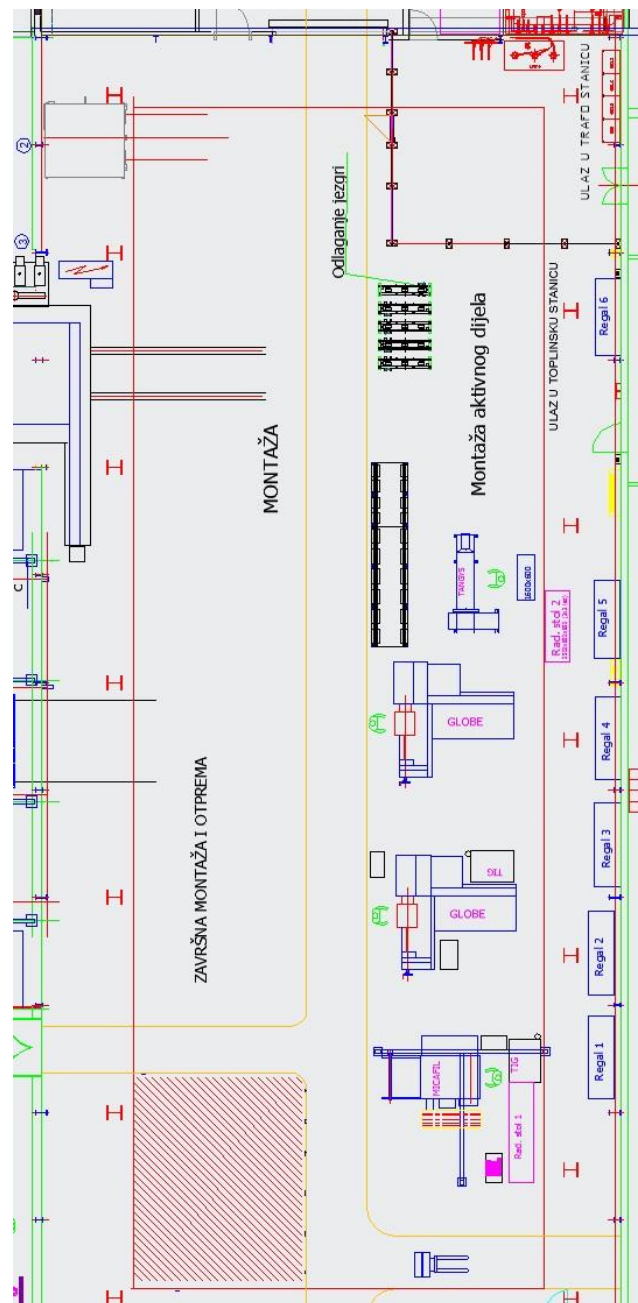
Funkcija cilja za sadašnje stanje uz stvarne udaljenosti iznosi:

$$\begin{aligned}
 f_c &= 16 \times 6 + 14 \times 13 + 16 \times 12 + 100 \times 33 + 160 \times 33 + 62 \times 8 + 62 \times 16 + 60 \times 8 \\
 &\quad + 103 \times 12 + 15 \times 5 + 15 \times 15 = 12554 \text{ [m/planski period]}.
 \end{aligned}$$

Funkcija cilja za stanje nakon primjene ograničenja iznosi:

$$f_c = 16 \times 18 + 14 \times 2 + 16 \times 31 + 100 \times 14 + 160 \times 7 + 62 \times 24 + 62 \times 15 + 60 \times 8 + 103 \times 29 + 15 \times 23 + 15 \times 15 = 9787 \text{ [m/planski period]}.$$

Preraspodjelom elemenata dobivena ušteda bila bi 2767 m/planskom periodu za uzetu količinu transformatora. Ako se uzme da je brzina prijevoznog sredstva 5 m/minuta dobiva se ušteda vremena od 9,2 sata na godišnjoj razini na prijevozu za predstavničku količinu. U slučaju povećanja kapaciteta ušteda bi bila veća. No, iako se ušteda čini malom treba napomenuti da se preraspodjelom elemenata dobio prostor od 42 m<sup>2</sup> koji bi se mogao iskoristiti kao međuoperacijsko skladište.

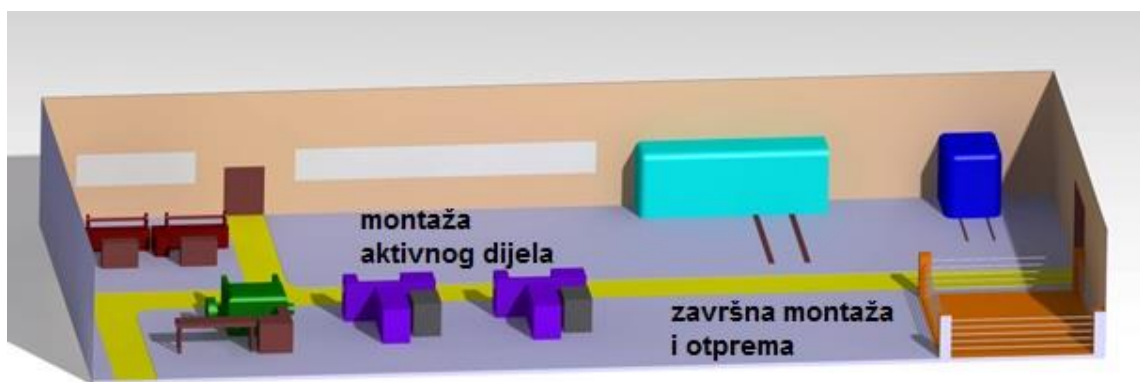


Slika 46. Novi raspored lokacija.

Izbacivanjem namatalice Paravichini, premještanjem lokacije namatalice Tangys te uzimajući u obzir potrebne proizvodne površine dobio se prostor od  $43 \text{ m}^2$  označen crvenom šrafurom. Prostor može biti iskorišten kao međuoperacijsko skladište ili kao privremeno skladište transformatora koji čekaju na otpremu.

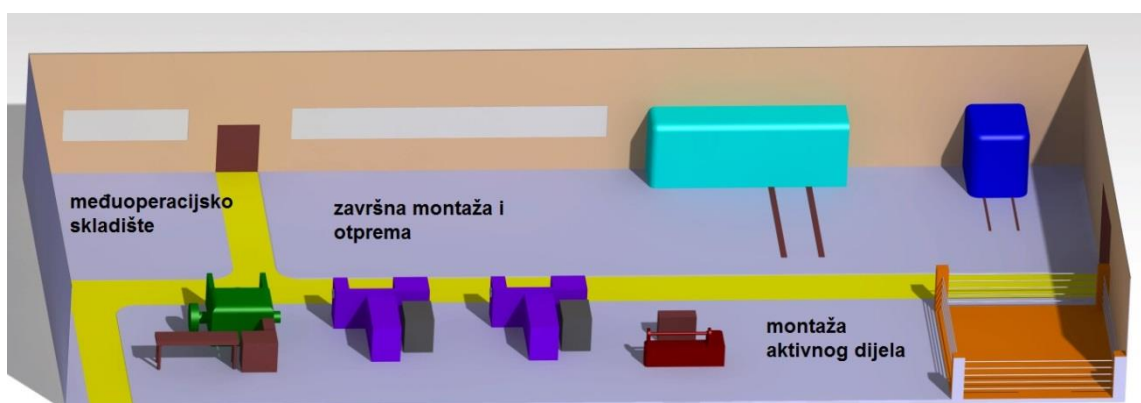
Radi zornijeg prikaza Hala 4 je modelirana i u 3Du (pomoću Catiie V). Slika 47. prikazuje sadašnje stanje gdje :

- žuta boja označava transportni put
- tamnoplava boja označava el. sušaru
- svijetloplava boja označava peć za sušenje aktivnog dijela transformatora
- ljubičasta boja označava namatalicu Globe
- zelena boja označava namatalicu Micafil
- tamnocrvena boja označava namatalice Paravicini i Tangys
- smeđom bojom označeni su pomoćni radni stolovi i vrata.



Slika 47. Hala 4: sadašnje stanje rasporeda strojeva (3D).

Na slici 48. prikazan je novi raspored lokacija modeliran u Cati.



Slika 48. Hala 4: novi raspored strojeva (3D).

## 9. KAPACITIVNO DIMENZIONIRANJE ELEMENATA SUSTAVA

---

### 9.1. Izrada aktivnog dijela

Jezgra transformatora se ne izrađuje unutar Hale 4, već se transportira složena iz Hale 1. Dva su razloga za to. Jedan je taj što je jednostavnije transportirati cijelu jezgru u Halu 4 nego ju transportirati u dijelovima (limovi, jarmovi, stupovi i sl.), drugi razlog su proizvodne količine. Upravo zbog malih proizvodnih količina i narudžbi za suhe i specijalne transformatore nije isplativo u Hali 4 imati radno mjesto za montažu jezgre, već je jednostavnije da se ona montira na radnim mjestima zajedno sa jezgrama za distributivne transformatore.

U lađi C Hale 1 nalaze se instalirana dva stroja za rezanje transformatorskog lima za izradu jezgri:

- Georg za uzdužno rezanje transformatorskog lima
- Georg za poprečno rezanje transformatorskog lima (2x).

Postupak uzdužnog rezanja transformatorskog lima odvija se na liniji Georg, smještenoj u lađi C Hale 1. Lim predviđen za obradu do stroja dolazi kombinacijom transportnih sredstava električni viličar/mosna dizalica (3 ili 10 tona). Prije početka obrade posebno se pazi da na kolutima lima ne oстане nikakvih ostataka ambalaže jer bi one mogle smetati pri upinjanju bale na odmatač.

Ulazni parametri potrebni za podešavanje plana rezanja transformatorskog lima unose se u kontrolni sustav za upravljanje linijom. Prema zadanim ulaznim parametrima (debljina lima, sirova širina trake lima, broj i širina izrezanih traka lima itd.) software prikazuje kako postaviti tj. rasporediti kružne noževe, distantne prstenove (koju debljinu) na vratilo. Pri podignutom stolu između odmatača i ulaznog agregata linije izvrši se uvođenje transformatorskog lima u ulazni agregat pri podignutim "reznim" letvama. Vođenje trake transformatorskog lima se podesi prema širini ulazne trake transformatorskog lima. Nakon podešenog plana rezanja lim se uvede u kružne škare koje ga uvuku i dovede do transportnih valjaka koji su iza transportnih škara. Dalje transportiranje lima vrše valjci. Otpadne trake uvode se u sjeckalicu, a otpad pada u sanduke. Preko podignutih stolova iznad jame trake limova se dovode do agregata za kočenje. Pri otvorenim čeljustima agregata za kočenje trake



lima se uvedu u njega prema rasporedu koji je prethodno podešen. Nakon uvođenja u agregat za kočenje trake limova se dovedu do namatača i krajevi učvrste u za to predviđene proreze na odmataču te se agregat za kočenje zatvara. [26]

Nakon tako izvršene pripreme linije i kontrole prvih metara izrezanih traka izvrši se spuštanje svih stolova i linija može krenuti u automatski rad, tj. izrezati cijeli kolut (balu) transformatorskog lima sa odmatača. Proces se ciklički ponavlja bez ili sa podešavanjem novog plana rezanja. Nakon završenog rezanja jednog (koluta) bale transformatorskog lima krajevi traka se ljepljivom trakama učvrste na odmataču i izvrši skidanje s odmatača hidrauličkim uređajem za guranje koji se na stazi na odmataču na obrtni križ sa kracima pod 90°. Koluti izrezanih traka transformatorskog lima se mosnom dizalicom nosivosti 3 t skidaju s križa i odlažu na palete za transport ili na stalke. [26]

Tehnološke karakteristike važne za proračun vremena plana rezanja nalaze se u tablici 15.

Tablica 15. Karakteristike stroja Georg. [26]

|   |                  |
|---|------------------|
| maksimalna brzina rezanja   | 120 m/min        |
| brzina rezanja za proračun  | 100 m/min        |
| maksimalna masa koluta lima   | 5 t              |
| najčešće dimenzije koluta lima  | 508/819 x 960 mm |
| duljina lima u jednom kolutu ( $l_{lim}$ )                                      | 1200 m           |
| vrijeme za podešavanje linije s maksimalnim brojem rezova                       | 30-45 min        |
| pripremno završno vrijeme za rezanje jedne bale transformatorskog lima          | 20 min           |
| prosječno vrijeme potrebno za podešavanje linije i plana rezanja ( $t_{pros}$ ) | 35 min           |

Proračun kapaciteta linije za uzdužno rezanje:

$$t_1 = \frac{t_{pros}}{l_{lim}} = \frac{35 \text{ min}}{1200 \text{ m}} = \frac{0,583 \text{ h}}{1200 \text{ m}} = 0,0004833 \text{ h/m}.$$

$$v_{rez} = 100 \text{ m/min} = 6000 \text{ m/h}.$$

$$t_{rez.} = \frac{1}{v_{rez}} = \frac{1}{6000} = 0,0001667 \text{ h/m}.$$

$$t_{uk} = t_1 + t_{rez} = 0,00065 \text{ h/m.}$$

$$v_{uzd.rez} = \frac{1}{t_{uk}} = 1538 \text{ m/h.}$$

Prema proračunu kapaciteta linije izračunata je maksimalna količina izrezanog lima u metrima:

- dnevno = 11535 m ili 9,6 kolutova lima
- mjesečno (jedna smjena) = 230700 m ili 192.25 kolutova lima
- mjesečno (dvije smjene) = 461400 m ili 384,5 kolutova lima
- godišnje (jedna smjena) = 2849400 m ili 2374,5 kolutova lima
- godišnje (dvije smjene) = 62289000 m ili 51907,5 kolutova lima.

Prije postupka poprečnog rezanja transformatorskog lima za određeni tip distributivne jezgre potrebno je znati vrstu transformatorskog lima koji se ugrađuje u jezgru, specifične gubitke lima pri 1.7 T koji se ugrađuje, raspoloživu i potrebnu dužinu trake lima. Izrezane trake transformatorskog lima određene širine i debljine lima, vrste lima, deklariranih specifičnih gubitaka pri 1.7 T, poprečno se režu na liniji za poprečno rezanje transformatorskog lima na jednom od strojeva Georg. [26]

Kapaciteti linija za rezanje transformatorskog lima u potpunosti zadovoljavaju zahtjeve proizvodnje te nisu potrebni zahvati na linijama što se tiče njihove proizvodnosti.

Postupak slaganja jezgri razlikuje se prema tipu jezgre, planu slaganja transformatorskih limova, izrezanom obliku transformatorskih limova. Radna mjesta (stolovi) za slaganje jezgri nalaze se u lađi D Hale 1.

## 9.2. Namatalice

U procesu izrade transformatora pojavljuje se nekoliko vrsta namota. Unutar Hale 4 nalaze se namatalice Globe, Micafil, Paravicini te Tangys.

### 9.2.1. Micafil

Micafil je stroj za namatanje folijskih namota. Namatanje na stroju odvija se na sljedeći način: bala folije se postavlja na odmatač folije. Dvije bale slojne izolacije postavljaju se na svoje odmatače. Namatanje se vrši na metalnu ekspanzirajuću šablonu sa segmentima okruglog oblika. Namatanje započinje zavarivanjem priključka na foliju. Zavarivanje se obavlja elektro-lučnim postupkom zavarivanja pod zaštitnom atmosferom argona (TIG postupak). Slijedi namatanje potrebnog broja zavoja i na kraju zavarivanjem priključka. Namot se skida sa šablone uz pomoć dizalice i odlaže na odgovarajuću metalnu paletu pokraj stroja. [26]

Tehničke karakteristike stroja MICAFIL nalaze se u Tablici 16.

Tablica 16. Tehničke karakteristike stroja Micafil. [26]

|  |             |
|--|-------------|
| Mogućnost namatanja jedne i dvije paralele                 |             |
| Min. unutarnji promjer namota                              | 160 mm      |
| Maks. vanjski promjer namota ili opisanog kruga priključka | 580 mm      |
| Maks. širina folije  | 1150 mm     |
| Maks. visina namota (folija + priključak)                  | 1250 mm     |
| Debljina folije  | 0,25 – 2 mm |
| Nosač folije   | 2 komada    |
| Nosač izolacije  | 2 komada    |
| Nosač krajnjih traka                                       | 2 komada    |
| Snaga pogonskog motora                                     | 8 kW        |

Vremena potrebna za namatanje namota prema predstavničkom asortimanu prikazane su u tablici 17.

Tablica 17. Ukupno vrijeme namatanja na stroju Micafil.

| Tip transformatora   | 6TBS<br>400-12X | 6TBS<br>630-<br>24/B | TBN<br>1700-<br>12/C | TON<br>2500-<br>24/B | TBN<br>1600-<br>12/B | TBN<br>2500-<br>12/A | TBN<br>1900-36 |       |
|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-------|
| komada/a             | 20              | 40                   | 3                    | 3                    | 3                    | 3                    | 3              |       |
| vrijeme namatanja, h | 5,9             | 5,9                  | 4,4                  | 3,5                  | 4,4                  | 17,2                 | 4              |       |
| ukupno, $T_{NAM}$    | 118             | 236                  | 13,2                 | 10,5                 | 13,2                 | 51,5                 | 12             | 454,4 |

Pod pretpostavkom da je prosječno pripremno završno vrijeme na stroju Micafil  $T_{PZ} = 2$  h te da je prosječna serija 5 transformatora, dobivamo da je ukupno pripremno završno vrijeme:

$$T_{PZ,UK} = 30 \text{ h.}$$

Potrebno vrijeme namatanja iznosi:

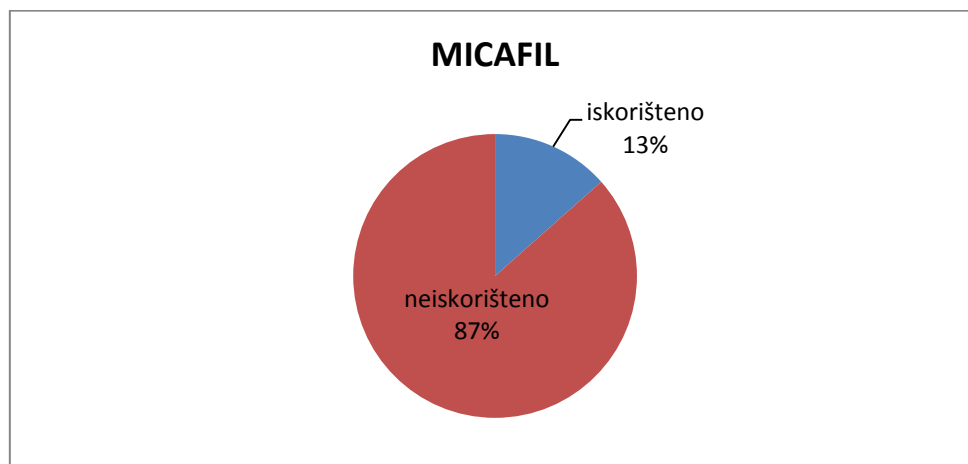
$$T_{UK} = T_{PZ,UK} + T_{NAM} = 454,4 + 30 = 484,4 \text{ h.}$$

Raspoloživo vrijeme stroja:

$$T_{RAD} = \text{radni sati} \times \text{radni dani mjesečno} \times \text{broj mjeseci} = 7,5 \times 20 \times 12 = 1800 \text{ h}$$

$$T_{STROJ} = T_{RAD} \times \text{broj smjena} = 1800 \times 2 = 3600 \text{ h.}$$

Iz izračuna i grafičkog prikaza (Slika 49.) je vidljivo da je stroj na godišnjoj razini prema odabranim količinama u radu 13,4 % vremena.



Slika 49. Iskorištenost stroja Micafil.

### 9.2.2. Globe

Globe je stroj za namatanje okrugle ili profilne žice. Namatanje namota iz okrugle lakirane žice odvija se na sljedeći način: žica se postavlja na odmatač žice. Pored stroja na radni stol se odlažu potrebni izolacijski dijelovi namota. Namatanje se obavlja uz strojno vođenje žice u

jednom ili više slojeva te ručno umetanje slojne izolacije. Namatanje se vrši na šablonu, a obavlja ga jedan namatač. Namoti se skidaju sa šablone i dizalicom odlažu u odgovarajuće metalne palete pokraj stroja. [26] Tehničke karakteristike stroja Globe nalaze se u tablici 18.

Tablica 18. Tehničke karakteristike stroja Globe. [26]

|  |                |                               |
|--|----------------|-------------------------------|
| Minimalni unutarnji promjer                            |                | 135 mm                        |
| Maximalni promjer namota ili opisanog kruga priključka |                | 889 mm                        |
| Nosач folije - 2 kom                                   | promjer        | 200 mm                        |
|  | dužina         | 762 mm                        |
|  | nosivost       | 1000 kg                       |
| Okrugla žica   | promjer        | 1,5 - 3,8 mm                  |
|  | profilni vodič | presjek do 50 mm <sup>2</sup> |
| Max. visina namota                                     |                | 780 mm                        |
| Nosач izolacije - 2 kom                                | promjer        | 76 mm                         |
|  | dužina         | 762 mm                        |
| Max. promjer izolacije - donje                         |                | 400 mm                        |
| Max. promjer izolacije - gornje                        |                | 660 mm                        |
| Nosач krajnjih traka - 4 kom                           | promjer        | 300 mm                        |
| Broj okretaja radnog vretena - unaprijed               |                | 21 - 143 o/min                |
| Broj okretaja radnog vretena - unazad                  |                | 6 - 46 o/min                  |
| Priključna snaga                                       |                | 12 kW                         |

Vremena potrebna za namatanje namota prema predstavničkom asortimanu prikazane su u tablici 19.

Tablica 19. Ukupno vrijeme namatanja na stroju Globe.

| Tip transformatora   | 6TBS<br>400-<br>12X | TBN<br>1700-<br>12/C | TON<br>2500-<br>24/B | TBN<br>1600-<br>12/B | MON<br>1000-<br>36X | MOZ<br>1510-<br>27,5 | TBN<br>1900-<br>36 | 2Pe<br>430-7-<br>12/150 | 2PE<br>4500-<br>12/750 |        |
|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|--------|
| komada/a             | 20                  | 3                    | 3                    | 3                    | 3                   | 3                    | 3                  | 6                       | 4                      |        |
| vrijeme namatanja, h | 61,6                | 10,6                 | 9,1                  | 10,6                 | 29                  | 64                   | 41,4               | 3                       | 4,2                    |        |
| ukupno, $T_{NAM}$    | 1232                | 31,8                 | 27,3                 | 31,8                 | 87                  | 192                  | 124,2              | 18                      | 16,8                   | 1760,9 |

Pod pretpostavkom da je prosječno pripremno završno vrijeme na stroju Globe  $T_{PZ} = 1$  h, te da je prosječna serija pet transformatora dobiva se da je ukupno pripremno-završno vrijeme:

$$T_{PZ,UK} = 10 \text{ h.}$$

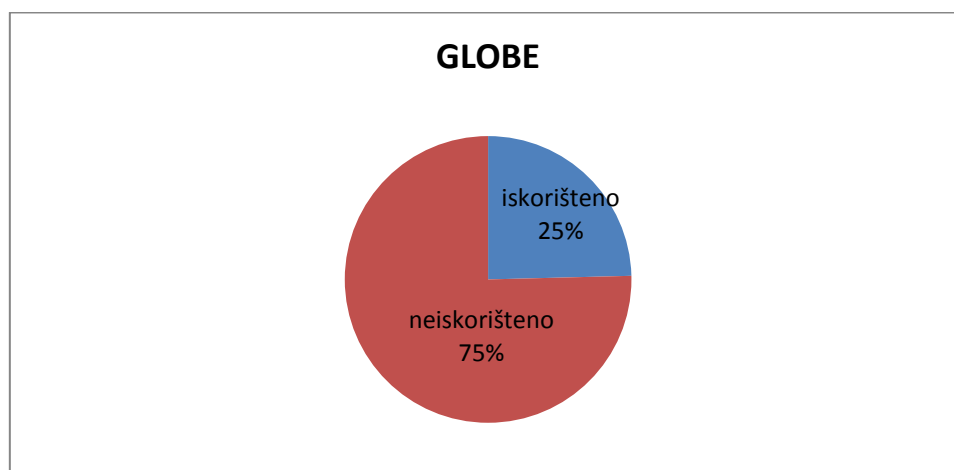
Potrebno vrijeme namatanja iznosi:

$$T_{UK} = T_{PZ,UK} + T_{NAM} = 1760,9 + 10 = 1770,9 \text{ h.}$$

Raspoloživo vrijeme stroja:

$$T_{STROJ} = T_{RAD} \times broj \text{ smjena} \times broj \text{ strojeva} = 1800 \times 2 \times 2 = 7200 \text{ h.}$$

Iz izračuna i grafičkog prikaza (Slika 50.) je vidljivo da je stroj na godišnjoj razini prema odabranim količinama u radu 24,6 % vremena.



Slika 50. Iskorištenost stroja Globe.

### 9.2.3. Tangys

Na stroju Tangys odvija se namatanje namota iz profilne žice. Namatanje se može izvršiti na stroju Globe ili stroju Tangys na slijedeći način: žica se postavlja na odmatač žice. Uz ručno vođenje vrši se namatanje u jednom ili više slojeva s jednom ili više paralela. Namatanje se vrši na šablonu a obavlja ga jedan namatač. Namoti se skidaju sa šablone i dizalicom odlažu u odgovarajuće metalne palete pokraj stroja. [26]

Tablica 20. Tehničke karakteristike stroja Tangys. [26]

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Razmak šiljaka, mm    | 1480 |
| Promjer namatanja, mm | 1800 |
| Visina namota, mm     | 1530 |
| Broj okretaja, o/min  | 60   |
| Snaga motora, kW      | 2,6  |

Tablica 21. prikazuje ukupno vrijeme namatanja za reprezentativne količine transformatora na stroju Tangys.

Tablica 21. Ukupno vrijeme namatanja na stroju Tangys.

| Tip transformatora   | 6TBS 630-24/B | ABN 6000-12x/H | TBN 1700-12/C | TON 2500-24/B | TBN 290-24X/H | TBN 1600-12/B | MBN 50-38/C | TBN 2500-12/A |         |
|----------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------|
| Komada/a             | 40            | 3              | 3             | 3             | 3             | 3             | 3           | 3             |         |
| Vrijeme namatanja, h | 24,5          | 17,35          | 21,6          | 11,6          | 3,4           | 21,6          | 2,6         | 16,9          |         |
| Ukupno, $T_{NAM}$    | 980           | 52,05          | 64,8          | 34,8          | 10,2          | 64,8          | 7,8         | 50,7          | 1265,15 |

Pod pretpostavkom da je prosječno pripremno završno vrijeme na stroju Tangys  $T_{PZ} = 1$  h, te da je prosječna serija pet transformatora dobiva se da je ukupno pripremno završno vrijeme:

$$T_{PZ,UK} = 13 \text{ h.}$$

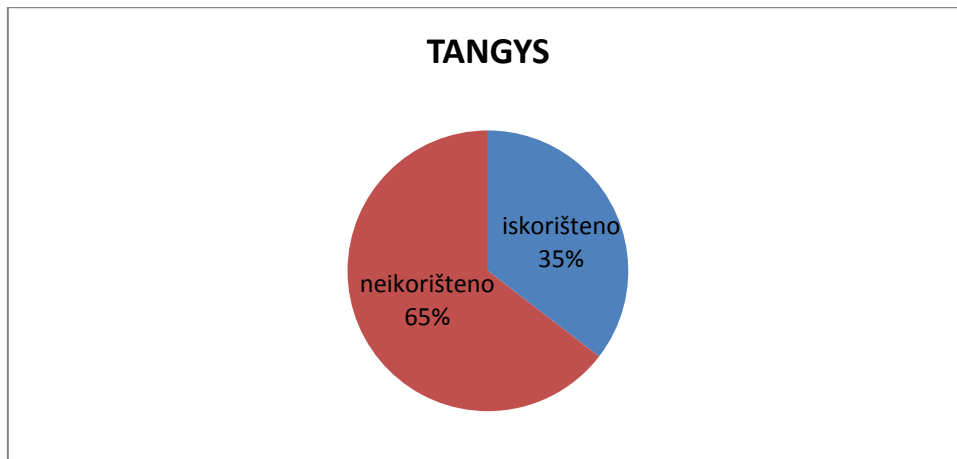
Potrebno vrijeme namatanja iznosi:

$$T_{UK} = T_{PZ,UK} + T_{NAM} = 1265,15 + 13 = 1276,15 \text{ h.}$$

Raspoloživo vrijeme stroja:

$$T_{STROJ} = T_{RAD} \times broj \ smjena = 1800 \times 2 = 3600 \text{ h}$$

Iz izračuna i grafičkog prikaza (Slika 51.) vidljivo je da je stroj na godišnjoj razini prema odabranim količinama u radu 35,44 % vremena.



Slika 51. Iskorištenost stroja Tangys.

#### 9.2.4. Paravicini

Horizontalna namatalica, svojim karakteristikama gotovo u potpunosti jednaka Tangys namatalici.

Tablica 22. Tehničke karakteristike stroja Paravicini. [26]

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Razmak šiljaka, mm    | 2250 |
| Promjer namatanja, mm | 1800 |
| Visina namota (mm)    | 2400 |
| Broj okretaja (o/min) | 13,5 |
| Snaga motora (kW)     | 4    |

Paravicini namatalica po potrebi može namatati isti asortiman namota kao i namatalica Tangys. Pod pretpostavkom pripremno završnog vremena  $T_{PZ} = 1$  h može se izračunati iskorištenost kapaciteta ove namatalice tako da podijelimo iskorištenost namatalice Tangys sa 2. Tada dobivamo da je iskorištenost oba stroja jednaka i iznosi 17,72 %.

#### 9.3. Sušenje i punjenje uljem

Vakuumsko sušenje aktivnog dijela transformatora kombinacija je zagrijavanja toplim zrakom i vakuumiranja. Zagrijavanje transformatora obavlja se cirkulacijom zraka unutar komere te se istodobno održava relativna vlažnost zraka unutar komore ispod zasićenosti dodavanjem



suhog zraka iz atmosfere. Konačno snižavanje sadržaja vlage iz izolacije izvodi se vakuumiranjem. Izmjenom ciklusa zagrijavanja i vakuumiranja postiže se zadovoljavajući stupanj osušenosti izolacije aktivnog dijela transformatora.

Punjenje transformatora uljem provodi se ovisno o izvedbi kotla transformatora izvan peći ili unutar peći. U oba slučaja potrebno je vakuumirati transformator prije punjenja uljem. Za provođenje poslova sušenja i punjenja uljem te sušenje i impregnaciju namota u Hali 4 nalazi se instalirana slijedeća oprema:

- Peć za sušenje aktivnog dijela transformatora
- Električna sušara.

### 9.3.1. Električna peć

Električna peć služi za predušenje, predpolimerizaciju i polimerizaciju laka (namota). Zagrijavanje zraka u peći vrši se pomoću ventilatora koji uzima zrak iz peći, prostrujava ga preko električnih grijača i ponovo ubacuje u peć. Kontrola rada peći omogućena je preko termostata i pisača. Termostatom se regulira željena temperatura, dok pisač bilježi temperaturu na kružnom dijelu u ovisnosti o vremenu. Namoti u električnu peć dolaze pomoću kolica koja se kreću po tračnicama, na isti način se i vade iz peći.

Tablica 23. prikazuje vrijeme ukupno vrijeme sušenja za reprezentativne tipove transformatora u Električnoj peći.

Tablica 23. Električna peć - tablica zauzeća kapaciteta.

| Tip transformatora      | 6TBS 400-12X | 6TBS 630-24/B |      |
|-------------------------|--------------|---------------|------|
| Komada/a                | 20           | 40            |      |
| Vrijeme sušenja, h      | 48           | 60            |      |
| Ukupno, $T_{SUŠ}$ , h/a | 960          | 2400          | 3360 |

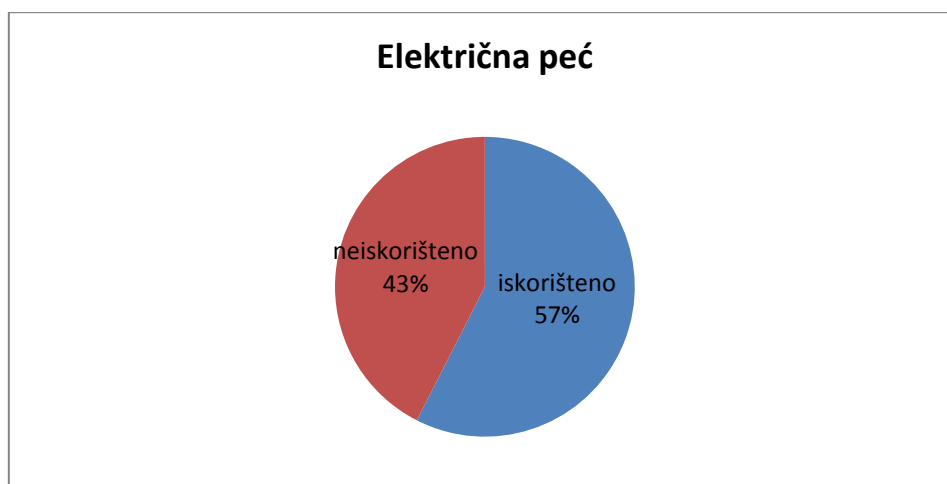
Uspoređujući gabarite sušare i gabarite aktivnog dijela predstavničkih transformatora dobiveno je da u jednom ciklusu u peći stanu po dva transformatora, tako se ukupno vrijeme potrebno za sušenje može podijeliti s dva pa iznosi  $T_{SUŠ} = 1680$  h/a.

Kao što se iz gornjeg teksta vidi, u električnoj sušari suše se i impregniraju namoti. Impregnacija namota odvija se u nekoliko faza:

- preosušenje namota
- potapanje namota u lak
- otvrdnjavanje namote
- druga impregnacija
- drugo otvrdnjavanje namota.

Sve faze zajedno sa pripremom peći traju oko 26 h. Pod pretpostavkom da je za sve predstavničke transformatore potrebna impregnacija te da od jednom u komoru stanje dovoljno skupova namota za izradu četiri transformatora dobivamo da je vrijeme potrebno za impregnaciju 390 h. Stoga zauzeće stroja kada mu se pribroji  $T_{SUŠ}$  iznosi 2070 h.

Iz izračuna i grafičkog prikaza (Slika 52.), uzevši u obzir raspoloživ broj radnih sati stroja  $T_{STROJ} = 3600$  h, je vidljivo da je stroj na godišnjoj razini prema odabranim količinama u radu 57,5 % vremena.



Slika 52. Iskorištenost električne sušare (peći).

### 9.3.2. Peć za sušenje aktivnog dijela transformatora

Peć za sušenje aktivnog dijela transformatora služi za sušenje svih vrsta distributivnih transformatora te za punjenje distributivnih transformatora mineralnim uljem pod vakuumom. Prisutno je kompjutersko vođenje procesa unutar peći.

Tablica 24. Peć za sušenje aktivnog dijela - tablica zauzeća kapaciteta.

| Tip transformatora | Komada/a | Vrijeme sušenja, h | Broj komada u peći |
|--------------------|----------|--------------------|--------------------|
| ABN 6000-12x/H     | 3        | 22                 | 14                 |
| TBN 2500-12/A      | 3        | 23                 | 2                  |
| MBN 50-38/C        | 3        | 20                 | 20                 |
| MON 1000-36X       | 3        | 21                 | 10                 |
| 2Pe 430-7-12/150   | 6        | 21                 | 15                 |
| 2PE 4500-12/750    | 4        | 21                 | 15                 |
| TON 2500-24/B      | 3        | 48                 | 6                  |
| TBN 1700-12/C      | 3        | 23                 | 6                  |
| TBN 290-24X/H      | 3        | 21                 | 3                  |
| TBN 1600-12/B      | 3        | 22                 | 10                 |
| TBN 1900-36        | 3        | 23                 | 6                  |
| MOZ 1510-27,5      | 3        | 23                 | 6                  |

Tablica 25. prikazuje transformatore grupirane prema vremenima sušenja.

Tablica 25. Grupe transformatora prema vremenima sušenja.

| Vrijeme sušenja, h | Tip transformatora |                 |                |               |
|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 20                 | MBN 50-38/C        |                 |                |               |
| 21                 | MON 1000-36X       | 2Pe430-7-12/150 | 2PE4500-12/750 | TBN 290-24X/H |
| 22                 | ABN 6000-12x/H     | TBN 1600-12/B   |                |               |
| 23                 | TBN 2500-12/A      | TBN 1700-12/C   | TBN 1900-36    | MOZ 1510-27,5 |
| 48                 | TON 2500-24/B      |                 |                |               |

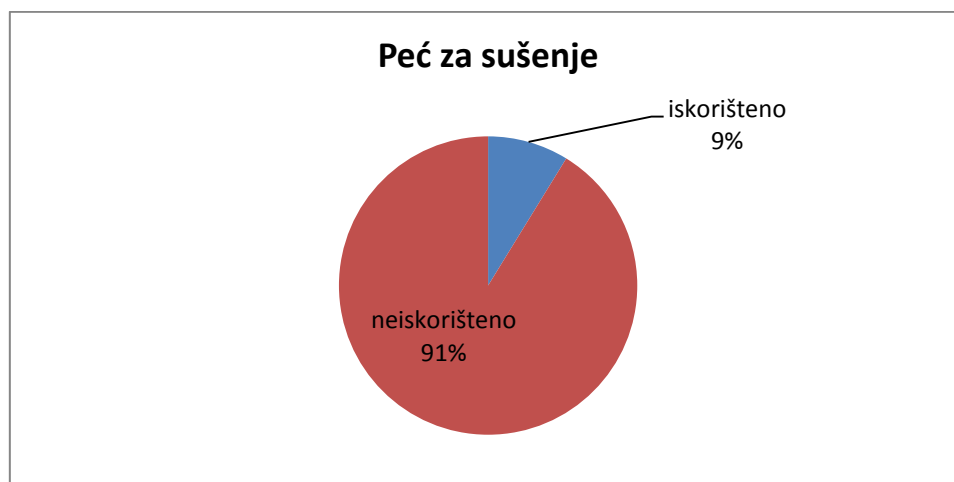
Uzevši u obzir gabarite peći i gabarite transformatora u pojedinim skupinama, doneseni su zaključci da:

- transformatori iz grupe od 20 h sušenja mogu biti obrađeni u jednom ciklusu
- transformatori iz grupe od 21 h sušenja mogu biti obrađeni u tri ciklusa
- transformatori iz grupe od 22 h sušenja mogu biti obrađeni u jednom ciklusu
- transformatori iz grupe od 23 h sušenja mogu biti obrađeni u tri ciklusa
- transformatori iz grupe od 48 h sušenja mogu biti obrađeni u jednom ciklusu.

Iz gore navedenih podataka i zaključaka dobiveno je da je ukupno potrebno vrijeme za obradu predstavničkih transformatora 200 h.

Namjena peći uz sušenje distributivnih transformatora je i punjenje istih mineralnim uljem pod vakuumom. Pojedine vrste transformatora zbog svoje konstrukcije ne moraju se puniti unutar peći (konstrukcija „drži“ vakuum). Za vakuumiranje i punjenje uljem za sve vrste predstavničkih transformatora potrebno je ukupno 116 h. Te je ukupno zauzeće peći za sušenje 316 h.

Uz raspoloživo vrijeme peći od 3600 h dobivena je iskoristivost od 8,7 % (Slika 53.). Dobivena iskoristivost vrijedi kod optimalne produktivnosti peći za odabrane količine, kada bi bio prisutan idealan slučaj bez čekanja na iduću seriju.



Slika 53. Iskoristivenost peći za sušenje.

U ovom slučaju prikazana je optimalna iskoristivost peći koja odudara od stvarne jer se svi ti transformatori ne proizvode u istom planskom periodu, pa stoga nije vjerojatno da je zauzeće peći samo 9 % vremena. Kada bi se računalo stvarno zauzeće peći ono bi bilo mnogo veće i uvelike bi ovisilo o pripremi i planovima proizvodnje (kada se i u kojim količinama proizvode pojedini transformatori).

## 10. ODREĐIVANJE MAKSIMALNOG KAPACITETA SUSTAVA SIMULACIJOM

---

U ovom poglavlju simuliran je rad sustava u programu FlexSim 7.5. Simulacija je napravljena s ciljem određivanja maksimalnog kapaciteta sustava prema tipovima predstavničkih skupina transformatora. Korištena je *trial* verzija programa u kojoj su prisutna ograničenja (prema broju modela, pojedinim načinima prikaza npr. Tree, Script itd.) u odnosu na potpunu licenciranu verziju. Kao rezultat simulacije navedena je maksimalna količina transformatora koju sustav može dati u godini dana dvosmjenskim radom.

FlexSim je objektno orijentirani simulacijski paket za proizvodnju, rukovanje materijalom, skladištenje i tok procesa. Kako postojeći objekti mogu biti potpuno prilagođeni posebnim zahtjevima, FlexSim-om se može modelirati široka raznovrsnost proizvodnih konfiguracija. Ti prilagođeni objekti tada se mogu staviti u biblioteku za ponovno korištenje kod sadašnjeg ili budućeg modeliranja. Model može imati neograničen broj razina hijerarhije i koristiti sve aspekte objektno orijentirane tehnologije. [27]

FlexSim pruža trodimenzijsku, potencijalnu projekciju modela koji je građen i modeliran prema zadanim značajkama. Uređaji rukovanja materijalom dostupni u FlexSim-u uključuju konvejjere, dizalice, AGVS, AS/RS, viličare, dizala, robote i operatere. FlexSim softver uključuje i troškove modela koji omogućavaju računanje profita svakog proizvedenog dijela te troškove vezane uz strojeve radnike itd. Postoji neograničen broj tokova slučajnih brojeva dostupnih u FlexSim-u. Korisnik ima pristup 24 standardnim teoretskim distribucijama vjerojatnosti i također empirijskim distribucijama. Vrijeme kvara stroja se može temeljiti na vremenu rada, kalendarskom vremenu ili događajima koje definira korisnik. Postoji „eksperimentator“ koji se može koristiti za automatski neovisna ponavljanja za svaki od različitih scenarija. Ponavljanja se mogu izvršiti istovremeno s više procesorskih jezgri. [27]

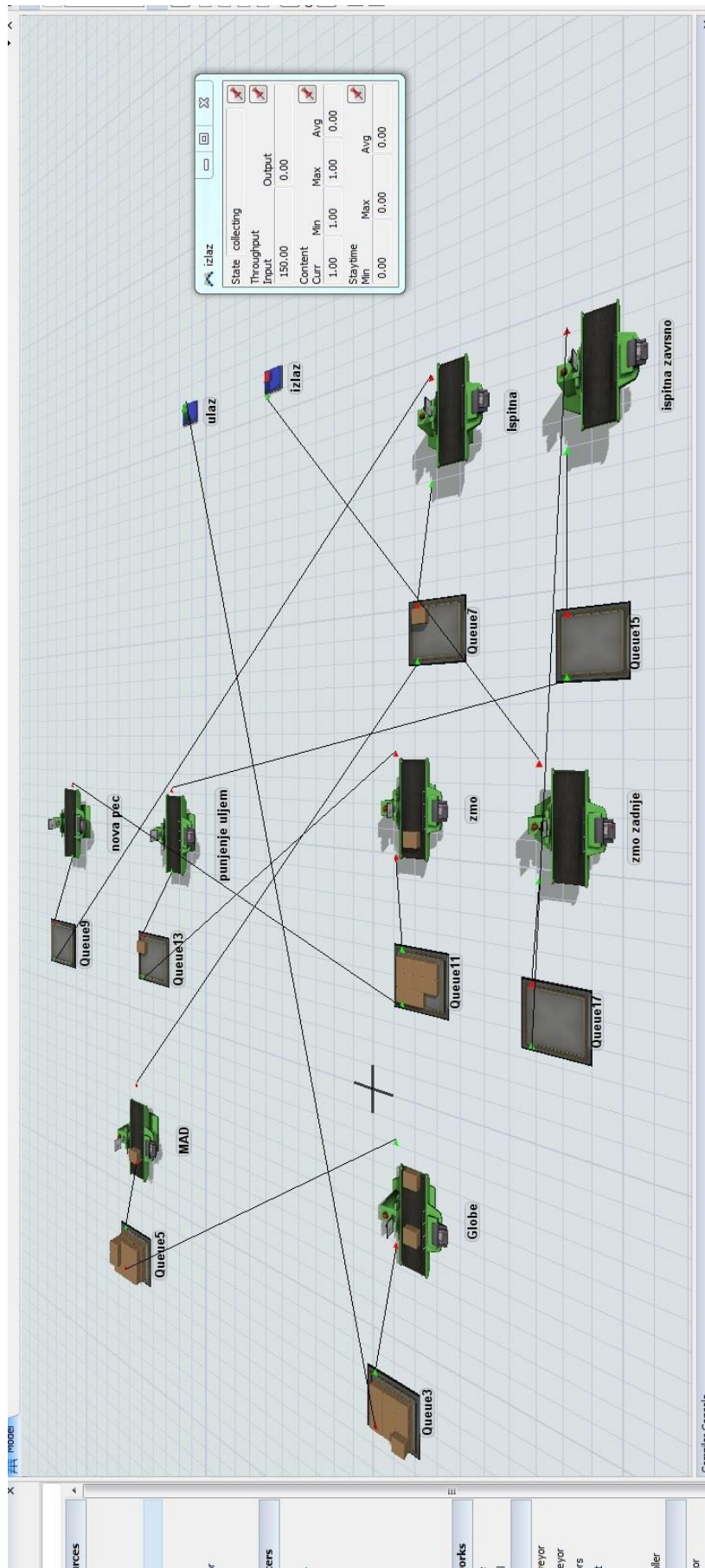
U prvom slučaju napravljena je analiza sustava s obzirom na predstavničku skupinu prigušnice. Kao reprezentant skupine uzeta je prigušnica 2Pe430-7-12/150. Parametri uzeti u simulaciju za predstavnički transformator su sljedeći:

- ukupno vrijeme montaže = 37 h

- vrijeme sušenja = 21 h
- vrijeme vakuumiranja i punjenja uljem = 1,5 h
- vrijeme namatanja namota na stroju Globe = 3 h
- pripremno završno vrijeme na stroju Globe= 2 h po seriji od 5 namota
- ukupno trajanje simulacije= 3600 h (godina dana, dvosmjenski rad).

Parametri vezani za elemente sustava u simulaciji:

- za vrijeme montaže pretpostavljeno je da 60 % od ukupnog vremena montaže odlazi na montažu aktivnog dijela, dok 40 % odlazi na radnom mjestu predviđenom za završnu montažu i otpremu
- u novu peć (prema gabaritima predstavničke prigušnice) stane 10 prigušnica u isto vrijeme
- na mjestu punjenja uljem moguće je u isto vrijeme puniti dvije prigušnice
- ispitna u isto vrijeme može vršiti ispitivanja pet transformatora
- svi elementi sustava rade u dvije smjene
- vrijeme transporta zbog relativno malih gabarita proizvodne hale nije uzet u obzir
- za ispitivanje prijenosnog omjera uzeto je vrijeme od 0,5 h, a za završno ispitivanje uzeto je vrijeme od 2 h.



Slika 54. Simulacija izrade prigušnica.

Kao krajnji rezultat simulacije dobiveno je da je maksimalni kapacitet sustava u godini dana dvosmjenskim radom 150 prigušnica godišnje.

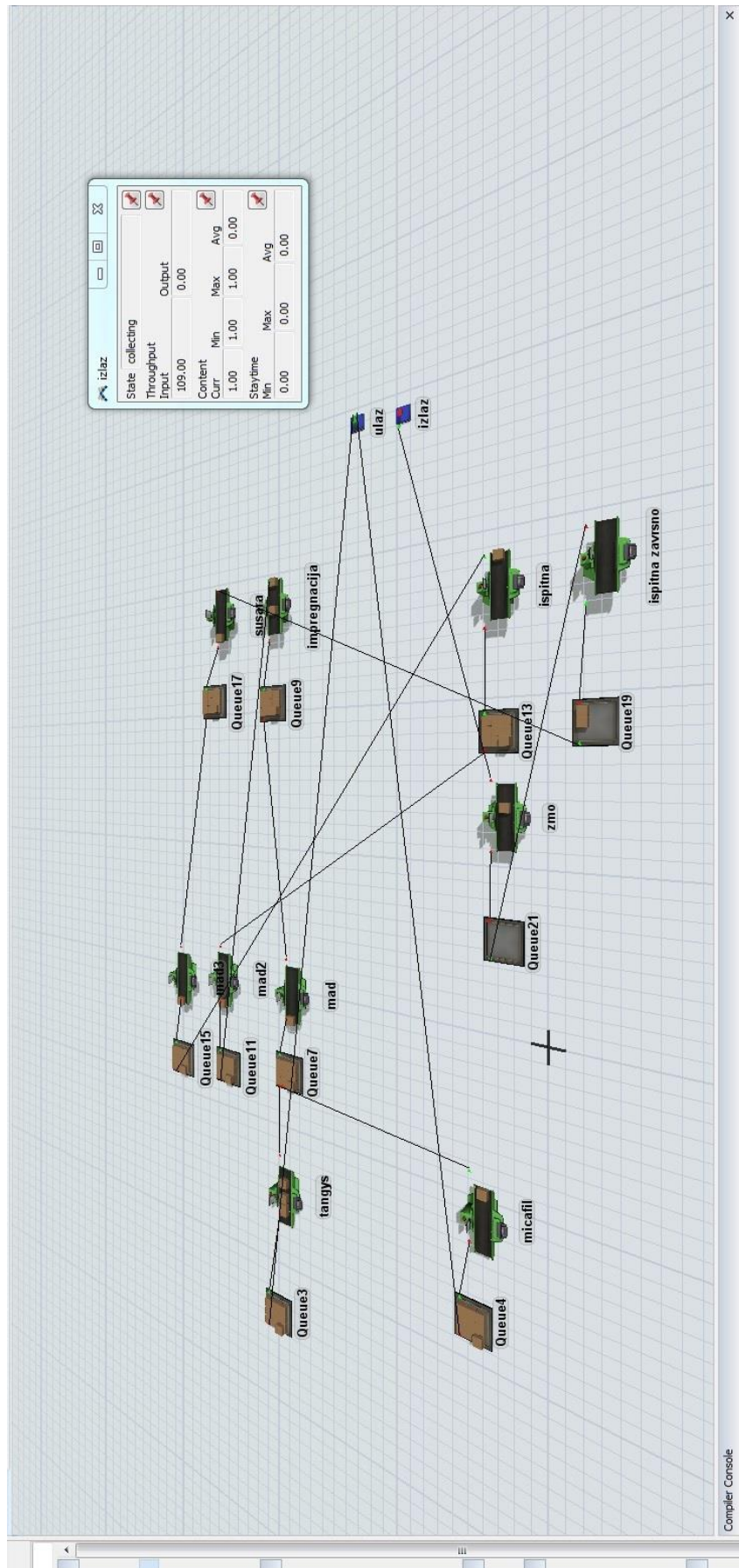
U drugom slučaju napravljena je analiza sustava s obzirom na predstavničku skupinu suhi transformatori. Kao reprezentant skupine uzet je suhi transformator 6TBS 400-12x. Parametri uzeti u simulaciji su:

- ukupno vrijeme montaže = 35 h
- vrijeme sušenja = 60 h
- vrijeme namatanja namota na stroju Micafil = 5,9 h
- vrijeme namatanja na stroju Tangys = 24,5 h
- pripremno završno vrijeme na stroju Micafil = 2 h po seriji od 5 namota
- Pripremno završno vrijeme na stroju Tangys = 1 h po seriji od 5 namota
- ukupno trajanje simulacije = 3600 h (godina dana, dvosmjenski rad).

Parametri vezani za elemente sustava u simulaciju su:

- za vrijeme montaže pretpostavljeno je da 60% od ukupnog vremena montaže odlazi na montažu aktivnog dijela, dok 40% odlazi na radnom mjestu predviđenom za završnu montažu i otpremu
- u električnu sušaru (prema gabaritima predstavničkog transformatora) stane dva transformatora u isto vrijeme
- na mjesto impregnacije namota u isto vrijeme stane 8 namota (potrebna su 2 h za impregnaciju namota)
- ispitna u isto vrijeme može vršiti ispitivanja pet transformatora
- svi elementi sustava rade u dvije smjene
- vrijeme transporta zbog relativno malih gabarita proizvodne hale nije uzet u obzir
- za ispitivanje prijenosnog omjera uzeto je vrijeme od 0,5 h, a za završno ispitivanje uzeto je vrijeme od 2 h.





Slika 55. Simulacija izrade suhih transformatora.

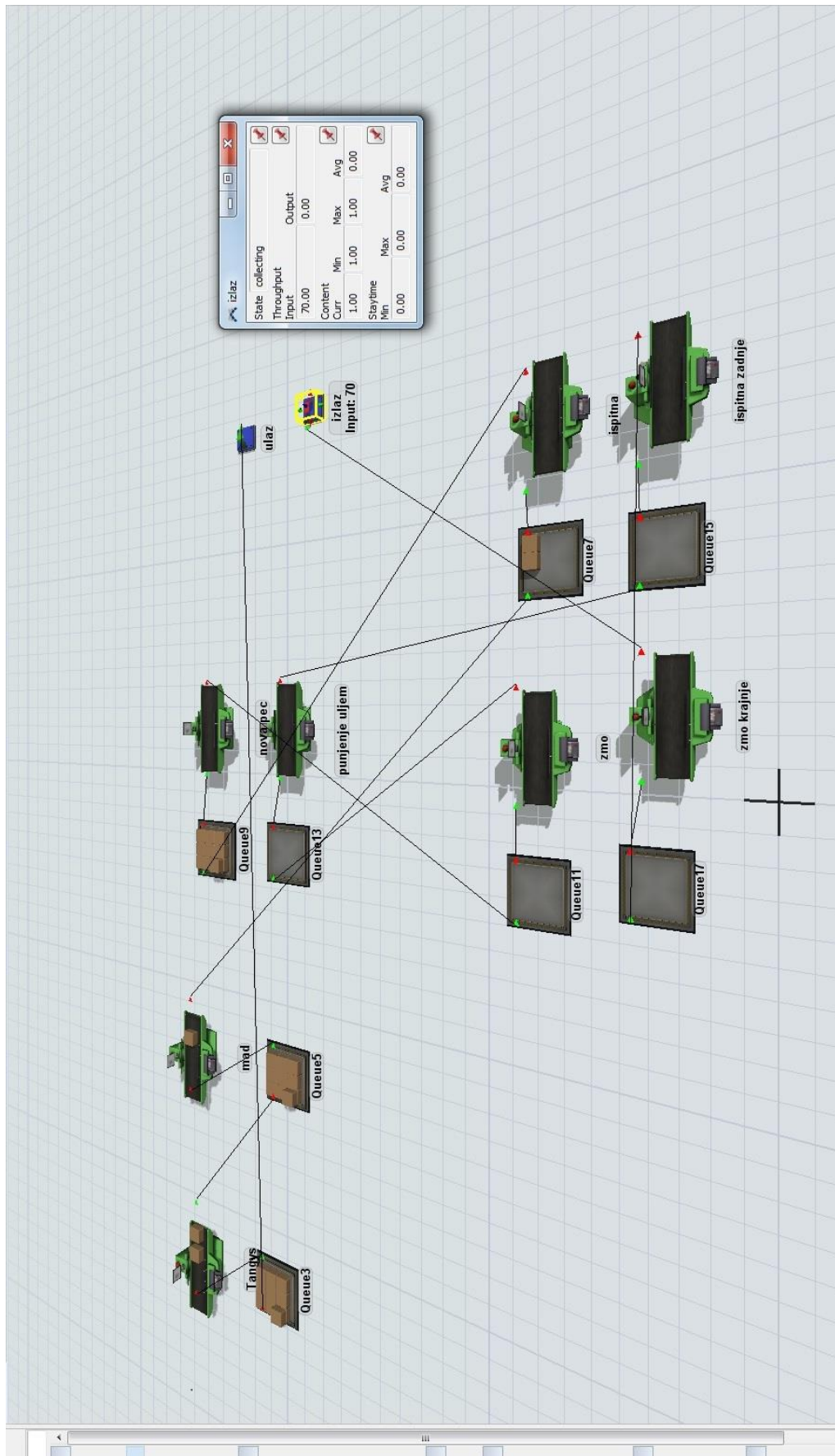
Kao krajnji rezultat simulacije dobiveno je da je maksimalni kapacitet sustava u godini dana dvosmjenskim radom 109 suhih transformatora godišnje.

U trećem slučaju napravljena je analiza sustava s obzirom na predstavničku skupinu specijalni transformatori. Kao reprezentant skupine uzet je specijalni transformator ABN 6000- 12 x/H. Parametri uzeti u simulaciju za predstavnički transformator su sljedeći:

- ukupno vrijeme montaže = 140 h
- vrijeme sušenja = 22 h
- vrijeme vakuumiranja i punjenja uljem = 2,5 h
- vrijeme namatanja namota na stroju Tangys = 17,35 h
- pripremno završno vrijeme na stroju Tangys = 1 h po seriji od 5 namota
- ukupno trajanje simulacije = 3600 h (godina dana, dvosmjenski rad).

Parametri vezani za elemente sustava u simulaciji:

- za vrijeme montaže pretpostavljeno je da 60% od ukupnog vremena montaže odlazi na montažu aktivnog dijela, dok 40% odlazi na radnom mjestu predviđenom za završnu montažu i otpremu
- u novu peć (prema gabaritima predstavničkog transformatora) stane 14 transformatora u isto vrijeme
- na mjestu punjenja uljem moguće je u isto vrijeme puniti dva transformatora
- ispitna u isto vrijeme može vršiti ispitivanja pet transformatora
- svi elementi sustava rade u dvije smjene
- vrijeme transporta zbog relativno malih gabarita proizvodne hale nije uzet u obzir
- za ispitivanje prijenosnog omjera uzeto je vrijeme od 0,5 h, a za završno ispitivanje uzeto je vrijeme od 2 h
- radi dugačkog vremena potrebnog za montažu transformatora (ukupno =140 h) da bi transformator što bolje prezentirao skupinu (pojedini transformatori iz skupine imaju kraće vrijeme montaže) uzeto je da se u isto vrijeme vrši montaža dva transformatora.



Slika 56. Simulacija izrade- specijalnih transformatora.

Kao krajnji rezultat simulacije dobiveno je da je maksimalni kapacitet sustava u godini dana dvosmjenskim radom 70 specijalnih transformatora godišnje.

Iako je izračunat kapacitet sustava maksimalan, iskoristivost pojedinih strojeva i dalje nije osobito velika zbog različitih duljina operacija (kao što se vidi na Piechartovima u prijašnjim poglavljima). U simulaciju zbog kompliciranosti nije uzeto da se od jedanput rade sve tri skupine transformatora.

Sumirano maksimalni kapacitet sustava iznosi:

Tablica 26. Maksimalni kapacitet sustava.

| skupina transformatora    | predstavnik skupine | maksimalna količina transformatora (komada/a) |
|---------------------------|---------------------|---|
| prigušnice                | 2PE430-7-12/150     | 150   |
| suhi transformatori       | 6TBS 400-12x        | 109   |
| specijalni transformatori | ABN 6000- 12 x/H    | 70  |

## 11. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA

---

Sagledavši cjelokupnu sliku sustava prezentiranu ovim radom donijeti su zaključci da bi se moglo razmotriti poboljšanje sljedećih procesa rada:

- Mogućnost obavljanja pojedinih ispitivanja (ispitivanje prijenosnog omjera) na mjestu predviđenom za montažu aktivnog dijela. Ispitivanje prijenosnog omjera eliminiralo bi potrebu za prijevozom od mjesta montaže aktivnog dijela do ispitne stanice usred procesa sklapanja (ispitivanje bi se vršilo tek na kraju proizvodnog procesa prije same otpreme).

Prijenosni omjer bi se na mjestu montaže, ako to veličine i složenost transformatora dopuštaju, mogao mjeriti na tri načina: voltmetrom, potenciometarskom metodom ili uređajem za mjerenje prijenosnog omjera.

Mjerenje voltmetrom je najjednostavnije mjerenje no treba paziti na malu toleranciju (0,5 %) stvarne vrijednosti otpora od one na natpisnoj pločici. Zbog male tolerancije prijenosnog omjera voltmetri s kojima se mjeri moraju biti odgovarajuće kvalitete, te se kod izračuna mora uzeti u obzir i utjecaj greške mjerenja i greške voltmetra.

Potenciometrijska metoda je zahtjeva korištenje otporničkog potenciometra i voltmetra (ako su oba namota sličnog reda veličine nazivnog napona) ili potenciometra sa dodatnim otpornicima (u slučaju napona različitog reda veličine).

Postoje specijalni uređaji kojima se mjeri prijenosni omjer. tim uređajima omogućeno je brzo i jednostavno mjerenje sa velikom točnošću.

Ušteda na vremenu potrebnim za transport mjesta za montažu aktivnog dijela do ispitne stanice do većeg izražaja bi došla tek sa povećanjem količine proizvoda, jer bi se u tom slučaju smanjio potreban broj prijevoza između mjesta predviđenog za montažu aktivnog dijela do ispitne stanice.

- Metodom trokuta dobiveno je smanjenje transportnog učinka koje je ostvarivo preraszmještajem strojeva. Preraszmještajem strojeva moguće je ubrzati sam proizvodni

proces. U slučaju predstavničkih količina od 100 transformatora godišnje ušteda na prijevozu bila bi oko devet sati. Ukoliko bi došlo do značajnijih povećanja količina proizvoda preraspodjelu elemenata sustava bi trebalo uzeti u obzir.

- Analizirati isplativost uvođenja automatske linije za slaganje jezgri distributivnih transformatora. Robotsko slaganje jezgri skupa s postojećim sustavom automatskog rezanja limova uvelike bi smanjilo vrijeme potrebno za slaganje jezgri te otvorilo mjesto za preraspodjelu elemenata sustava u Hali 1.
- Uvođenje kutija za prijedloge u kojima bi radnici mogli stavljati svoje primjedbe i prijedloge vezane za poboljšanje proizvodnje i organizacije (viši stupanj tehnološke demokracije).
- Eliminacija stroja Paravicini iz sustava. Namatalica Tangys može namatati isti asortiman namota kao i namatalica Paravicini, a uzevši u obzir sadašnje količine proizvoda nije potrebno u proizvodnji koristiti oba stroja. eliminacijom stroja Paravicini iz sustava i preraspodjelom elemenata dobio bi se dodatni prostor za međuoperacijsko skladištenje proizvoda i poluproizvoda.
- Pošto je proizvodnja specijalnih i suhих transformatora otprilike samo 5 % ukupne proizvodnje trebalo bi razmotriti reorganizaciju proizvodnje u Hali 4 na timsku organizaciju kao dodatak postojećoj organizacijskoj strukturi.

Integriranjem timske organizacije u već postojeću klasičnu organizaciju nastaje novi oblik organizacije u kojoj se povećava djelokrug poslova koje obavljaju pojedinci i tada cjelokupna organizacija postaje fleksibilnija i sposobnija za stalne promjene.

Članovi tima radili bi na proizvodnji suhих i specijalnih transformatora većinu vremena no ukoliko dođe do nedostatka narudžaba tim bi se raspustio te bi se radnici preraspodijelili na druga područja. Nakon što bi ponovo postojala potreba za radnicima tim bi se ponovo uspostavio. Takvi samoupravljački timovi samostalno bi koordinirali radnom situacijom poput sastavljanja radnog rasporeda i organizacijom proizvodnje, tim ne bi činili samo radnici u Hali 4 već i djelatnici iz različitih jedinica organizacije.

## 12. ZAKLJUČAK

---

Tvrtka Končar D&ST regionalni je lider u proizvodnji distributivnih, srednjih energetske i specijalnih transformatora. S preko 90 godina iskustva tvrtka neprestano teži ka kontinuiranom poboljšavanju vlastitog proizvodnog programa i na konstantnom prilagođavanju novim tržišnim uvjetima.

U sklopu rada analizirana je proizvodnja suhih i specijalnih transformatora, koji su važan aspekt u poslovanju i konkurentnosti tvrtke, i to ne prema proizvedenim količinama, već po tehnološkoj složenosti. Analiza je provedena prema metodologiji projektiranja proizvodnih sustava koja je predstavljena u prvom dijelu rada.

Opisan je cjelokupni proizvodni sustav u kojem se realiziraju distributivni i specijalni transformatori, uključujući proizvodni program, tehnologiju i ostale značajke bitne za dobivanje slike o važnijim značajkama ovog tipa proizvoda i njegove proizvodnje. Prema odabranim reprezentativnim dijelovima i količinama te njihovim tehnološkim podacima identificirani su tokovi materijala i napravljena je analiza razmještaja elemenata sustava (strojeva). Načinjen je novi raspored strojeva kojim se skratilo vrijeme prijevoza, doduše neznatno, no koje bi s povećanjem kapaciteta dobilo na važnosti.

Izvedeno je kapacitivno dimenzioniranje elemenata sustava prema predstavničkom asortimanu. Simulacijom u programu FlexSim dobiveni su okvirni maksimalni kapaciteti sustava ovisno o asortimanu proizvoda u proizvodnoj hali. Dobiveno je da sustav u godini dana može proizvesti 150 prigušnica ili 109 suhih transformatora ili 70 specijalnih transformatora. Reprezentantne količine uzete u početnu analizu iznose 100 komada ukupno (od čega je pretpostavljeno 60 suhih transformatora, 30 specijalnih i 10 prigušnica). Iako se u predstavničkom asortimanu nalaze sva tri tipa transformatora iz simulacije je vidljivo da ima mjesta za veće iskorištenje kapaciteta, odnosno da sustav do sada nije radio svojim maksimalnim kapacitetom.

Ponuda transformatora konkurentskih proizvođača, variranje cijena glavnih sirovina te nestabilnost valute dolara spram eura jedni su od važnih čimbenika rizika poslovanja. Također

unazad nekoliko godina prisutan je značajniji utjecaj globalne prekapacitiranosti proizvodnih kapaciteta za transformatore što uzrokuje pad tržišnih cijena i skraćenje rokova isporuke. Upravo zbog tih razloga potrebno je kontinuirano preispitivati, uočavati mogućnosti i osmišljavati unaprjeđenja postojećeg proizvodnog sustava s ciljem postizanja veće konkurentnosti i zadržavanja pozicije na globalnom tržištu.



## 13. LITERATURA

---

- [1] <http://www.koncar.hr/>, Pristupljeno: 2015.04.05
- [2] Končar: Izvješće o poslovanju 2014.
- [3] B. Vranješ: Projektiranje proizvodnih sustava, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [4] Z. Kunica: Projektiranje proizvodnih sustava, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2014.
- [5] R. G. Schroeder: Upravljanje proizvodnjom, Mate, Zagreb, 1999.
- [6] <https://www.google.hr/maps/> , lokacija Končar D&ST, Pristupljeno: 2015.04.05
- [7] <http://web.efzg.hr/dok/OIM/momazic//menadzment%20-%202013/20131203%20-%20Funkcije%20menadzmenta%20-%20organiziranje.pdf>, Pristupljeno: 2015.06.05
- [8] T. Hernaus: Vrste organizacijskih struktura, predavanja kolegija Organizacija, Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2014.
- [9] <http://www.cbsa-asfc.gc.ca/sima-lmsi/i-e/ad1395/ad1395-i12-de-eng.html>, Pristupljeno: 2015.04.19
- [10] I. Vinković: Izrada varijantnog modela konzervatora transformatora, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2007.
- [11] B. Skalicki, J. Grilec: Električni Strojevi i Pogoni, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [12] <http://www.ftn.uns.ac.rs/n1866978102/transformatori> Pristupljeno: 2015.07.05.
- [13] Z. Maljković: Transformatori, predavanja, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2010
- [14] R. Žičkar: Optimiranje u projektiranju industrijskih transformatora, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2011.
- [15] D. Salopek: Sustav za prepoznavanje uzoraka pri varijantnom konstruiranju, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2002.
- [16] [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Odrzavanje\\_10%5B1%5D.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Odrzavanje_10%5B1%5D.pdf)  
Pristupljeno: 2015.10.05
- [17] [https://www.fsb.unizg.hr/atlanis/upload/newsboard/20\\_12\\_2011\\_\\_13552\\_1\\_Uvod\\_u\\_odrzavanje\\_opreme.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/atlanis/upload/newsboard/20_12_2011__13552_1_Uvod_u_odrzavanje_opreme.pdf)  
Pristupljeno: 2015.20.05

- [18] [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/ISPITIVANJE\\_ELEKTRICNIH\\_STROJEVA.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ISPITIVANJE_ELEKTRICNIH_STROJEVA.pdf)  
Pristupljeno: 2015.20.05
- [19] T. Opetuk: Teorijski prikaz organizacijskih struktura i analiza poslovnog procesa s aspekta pripreme i planiranja proizvodnje, Končar D&ST, interni materijali, 2009.
- [20] <http://www.koncar-dst.hr/hr/home>, Pristupljeno: 2015.04.07
- [21] Končar D&ST katalog, Distributivni transformatori, 50-2500 kVA do/up 36 kV  
HR+ENG
- [22] Končar D&ST katalog, Trockentransformatoren: Dry-type transformers 100-5000 kVA  
bis/up to 24 kV DE + ENG
- [23] Končar D&ST katalog, Srednji energetske transformatori: Medium Power  
Transformers 2,5- 100 MVA do/up to 170 kV HR+ENG
- [24] Končar D&ST katalog, Special Transformers and Reactors for Medium Voltages:  
Spezialtransformatoren und Drosseln für Mittlere Spannungen DE + ENG
- [25] Zlatko Kopjar: Končar D&ST radni prostor, Končar D&ST, Zagreb, 12/2012.
- [26] Končar D&ST, interni dokumenti, 2015.
- [27] A. Oletić: Simulacija proizvodnih sustava, Završni rad, Fakultet strojarstva i  
brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [28] I. Gašparac, M. Cettolo: Električni strojevi- upute za laboratorijske vježbe, 2010./2011.,  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Elektrotehnike i računarstva.