# Montaža rotora visokonaponskog asinkronog motora

**Milec, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:611064

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

**Završni rad br. 313/PS/2019**

# Montaža rotora visokonaponskog asinkronog motora

**Nikola Milec, 5324/601**

Varaždin, siječanj 2020. godine

Sveučilište Sjever

**Proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 313/PS/2019**

# Montaža rotora visokonaponskog asinkronog motora


**Student**

Nikola Milec, 5324/601

**Mentor**

Zlatko Botak, dr. sc.



Varaždin, siječanj 2020. godine

**Sveučilište Sjever**
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

UNIVERSITY NORTH

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Nikola Milec | MATIČNI BROJ 5324/601

DATUM 18.12.2019. | KOLEGIJ Tehnologija I

NASLOV RADA Montaža rotora visokonaponskog asinkronog motora

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Montage of high-voltage asynchronous motor rotor

MENTOR dr. sc. Zlatko Botak, viši predavač | ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Katarina Pisačić, dipl.ing., viši predavač
2. dr. sc. Zlatko Botak, viši predavač
3. Marko Horvat, dipl.ing., predavač
4. Veljko Kondić, mag.ing.meh, predavač
5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 313/PS/2019

OPIS

U radu je potrebno:

- Opisati namjenu, princip rada i sastavne dijelove rotora asinkronog motora.
- Podrobnije opisati materijal izrade i funkciju glavnih dijelova rotora: paketa rotorskog lima, vratila, glavine, rotora, ventilatora, glavine ventilatora, rotorskoga štapa, kratkospojnoga prstena i tlačne ploče.
- Opisati pojedine faze montaže rotora, od ulaganja limova, prešanja paketa, ulaganja štapova, lemljenja kaveza do završne obrade rotora tokarenjem i balansiranjem.
- Opisati završnu kontrolu i ispitivanje montiranog rotora.

ZADATAK URUČEN 18.12.2019. | POTPIS MENTORA Botak

REPUBLIKA HRVATSKA 5 SVEUČILIŠTE SJEVER KOPRIVNICA SVEUČILIŠTE SJEVER

# Predgovor

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Zlatku Botaku koji je pratio cijeli proces izrade završnog rada i svojim savjetima uvelike pripomogao u izradi završnog rada. Također zahvaljujem se i svim profesorima koji su tokom studiranja doprinijeli razvoju mog znanja, ali i mojem osobnom razvoju kao osobe.

Zahvaljujem se svojim roditeljima na najvećoj potpori i razumijevanju tokom studiranja i njima posvećujem ovaj rad.

Posebna zahvala Teodori Gerbus na velikoj podršci i motivaciji tijekom studiranja i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom studiranja.

Želim spomenuti i nesebičnu pomoć radnika Končar – Generatori i motori d.d., koji su me svojim savjetima usmjeravali u pisanju završnog rada.

## Sažetak

U završnom radu prikazani su dijelovi rotora i proces montaže rotora visokonaponskog asinkronog motora. Opisani su glavni dijelovi rotora i njihov proces montaže. Montaža dijelova rotora zahtjeva različite naprave i strojeve.

Opisane su različite operacije montaže počevši sa paketiranjem, prešanjem, zagrijavanjem paketa na određenu temperaturu, ulaganjem štapova, lemljenjem i osiguravanjem štapova, tokarenjem dijela sklopa, balansiranjem, završnom ispitnom kontrolom i antikorozivnom zaštitom. U svakom dijelu montaže bitno je pridržavati se radnih uputa da bi se dobio ispravan rotor.



ključne riječi: asinkroni motor, rotor, montaža



## Summary

The final work presents the rotor parts and the rotor assembly process of a high voltage asynchronous motor. The main rotor parts and their assembly process are described. Assembly the rotor parts requires different devices and machines.

Various assembly operations are described, starting with packing, pressing, heating the package to a certain temperature, inserting the rods, soldering and securing the rods, turning a part of the assembly, balancing, final test control and corrosion protection. It is important to follow the operating instructions in each part of the assembly to obtain the correct rotor



Keywords: asynchronous motor, rotor, assembly

# Popis korištenih kratica i simbola

| | |
|---|---|
| **AKZ** | Antikorozivna zaštita |
| **DIN** | Njemački nacionalni standard |
| **EN** | Europska norma |
| **HRN** | Hrvatska norma |
| **$cm^2$** | Centimetar kvadratni |
| **kN** | Kilonjutn |
| **kW** | Kilovat |
| **mm** | Milimetar |
| **MPa** | Megapaskal |
| $P_1$ | Sila predprešanja |
| $P_2$ | Sila prešanja |
| $R_m$ | Zatezna čvrstoća |
| $R_e$ | Granica plastičnosti |
| $S$ | Površina lima |
| **T** | Temperatura |

# List used abbreviations and symbols

| | |
|---|---|
| **AKZ** | Corrosion protection |
| **DIN** | German national standard |
| **EN** | European standard |
| **HRN** | Croatian standard |
| **$cm^2$** | Centimeter square |
| **kN** | Kilonewton |
| **kW** | Kilowatt |
| **mm** | Millimeter |
| **MPa** | Megapascals |
| $P_1$ | Preventive force |
| $P_2$ | Press force |
| $R_m$ | Tensile strength |
| $R_e$ | Plasticity limit |
| $S$ | Sheet metal surface |
| **T** | Temperature |

# Sadržaj


1. Uvod ..... 5
2. Rotor ..... 7
   2.1. Paket rotorskog lima ..... 8
   2.2. Vratilo ..... 9
   2.3. Glavina rotora ..... 10
   2.4. Ventilator ..... 11
   2.5. Glavina ventilatora ..... 12
   2.6. Rotorski štap ..... 13
   2.7. Kratkospojni prsten ..... 14
   2.8. Tlačna ploča ..... 15
3. Montaža rotora ..... 16
   3.1. Slaganje limova – priprema za paketiranje ..... 17
   3.2. Prešanje paketa - paketiranje ..... 18
   3.3. Naprešavanje paketa ..... 21
   3.4. Montaža pomoćne osovine ..... 22
   3.5. Ulaganje štapova ..... 23
   3.6. Lemljenje kaveza ..... 24
   3.7. Utiskivanje štapova ..... 24
   3.8. Tokarenje rotora ..... 25
   3.9. Čišćenje srha ..... 25
   3.10. Balansiranje rotora ..... 26
   3.11. Bojanje rotora ..... 28
4. Završna kontrola i ispitivanje ..... 29
5. Primjena visokonaponskih asinkronih elektromotora ..... 31
6. Zaključak ..... 32
7. Literatura ..... 33

# 1. Uvod

Motori su rotacijski strojevi koji pretvaraju električnu energiju u mehaničku energiju vrtnje osovine. Glavni dijelovi motora su stator i rotor koji se sastoje od mehaničkih i električnih sklopova i podsklopova. Od prve izvedbe do danas nije bilo velikih izmjena glavnih dijelova kao što su stator i rotor. Međutim, izvedena su neka poboljšanja koja povećavaju učinkovitost samoga stroja. Poboljšani su materijali, prvenstveno kvaliteta magnetskoga lima i izolacija. Poboljšanja se odnose na povećanje snage, te ako je moguće, smanjenje dimenzija samoga stroja. Kada se govori o poboljšanju motora, u obzir ulaze mnogi faktori kao što su vibracije stroja, buka, itd. Svaka promjena jedne veličine zahtjeva promjenu i neke druge, te nije jednostavno unaprijediti takav stroj.

Motor se sastoji od dva glavna dijela.

- statora
- rotora.

Stator motora sastoji se od statorskog paketa, statorskog namota i kućišta.

Kućište statora je zavarena metalna konstrukcija ili lijevano željezo. Nakon obrade kućišta na konačnu mjeru kreće se sa paketiranjem. U kućište se slaže ili upreša paket statora u koji se kasnije ulaže armaturni namot. Stator čine željezna jezgra i namot, a smješten je u kućište radi mehaničkog učvršćenja.

Rotor također čine željezna jezgra i namot, a smješten je na osovinu. Veza između kućišta statora i rotirajućih dijelova stroja ostvaruje se pomoću ležajeva i ležajnih štitova. Prostor između statora i rotora je zračni raspor i iznosi od 1,5 mm do 8 mm.

Postoje sinkroni i asinkroni električni strojevi. Kod asinkronih strojeva brzina vrtnje rotora razlikuje se od brzine vrtnje okretnog magnetnog polja. Sinkroni strojevi namijenjeni su proizvodnji velike snage i često se koriste kao srednji generatori, dok su asinkroni strojevi malih i srednjih snaga.

Asinkrone ili indukcijske motore otkrio je Nikola Tesla, a rad motora temelji se na teoriji okretnog magnetskog polja. Kada se priključi vanjski izvor na statorski namot, u rotorskom

namotu inducira se napon putem elektromagnetske indukcije, koji potjera struju kroz rotorski namot.

Na kućištu je smještena priključna kutija sa stezaljkama na koje je izveden statorski namot.

Končar je 1921. godine osnovan kao poduzeće „Elektra“, koje iste godine prelazi u vlasništvo grupe Siemens i pod tim imenom djeluje do kraja drugoga svjetskog rata. Od 1946. do 1990. godine, poduzeće djeluje pod imenom „Rade Končar“, a od 1. siječnja 1991. organizirano je kao dioničko društvo i djeluje pod imenom KONČAR- Elektroindustrija. Grupa KONČAR sastoji se od 18 društava sa 3800 zaposlenih.

Isporuka prvog elektromotora sa lak žicom bila je 1930. godine, a prvi generator isporučen je 1948 godine u grad Maribor.

Od 1948 godine se u Končaru proizvelo više od 550 hidrogeneratora, transformatora i druge električne opreme, koja je ugrađena u 300 hidroelektrana u 50-ak zemalja na svim kontinentima svijeta.

# 2. Rotor

Rotor je rotirajući dio motora koji prenosi mehaničku energiju potrebnu za rad. Rotor se sastoji od rotorskog paketa, namota i osovine. Rotorski paket izveden je u obliku valjka od međusobno izoliranih tankih magnetskih limova. Uzduž rotorskog paketa, na vanjskoj strani valjka, nalaze se utori za smještaj rotorskog namota. Oblik utora koji se upotrebljava za smještaj rotorskog namota, ovise o vrsti samog namota.

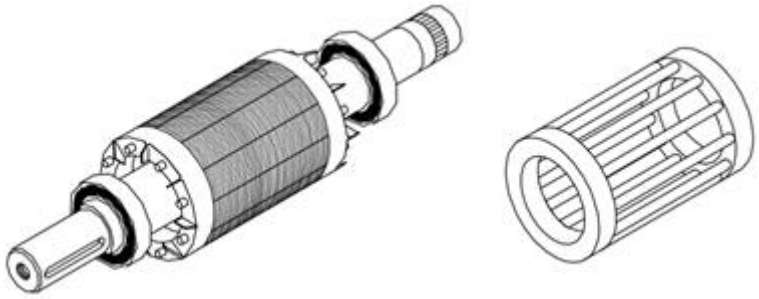
Rotor asinkronog stroja izvodi se bez istaknutih polova, sa raspoređenim namotom po obodu rotora. Taj namot se ne napaja iz vanjskog izvora. Rotorski namot može biti izveden od svitaka ili štapova, po čemu se razlikuju izvedbe asinkronih motora.

Asinkroni motori dijele se prema izvedbi rotora na:

- kolutne
- kavezne

Kolutni asinkroni motor ima raspoređeni višefazni namot na rotoru. Počeci tog namota najčešće su spojeni u zvijezdu.

U svakom utoru rotorskog paketa nalazi se po jedan vodič u obliku štapa. Štapovi su sa svake strane rotora kratko spojeni prstenovima i čine višefazni rotorski namot. Takav namot izgleda poput kaveza (ako se odstrani željezna jezgra), pa je po tome ova izvedba motora dobila ime kavezni motor.



*Slika 2.1 Kavezni rotor asinkronog motora*

Glavni dijelovi rotora su:

- paket rotorskog lima,
- vratilo,
- glavina rotora,
- ventilator,
- glavina ventilatora,
- rotorski štap,
- kratkospojni prsten,
- tlačna ploča,
- poluprsteni,
- klin i
- utezi za balansiranje.

## 2.1. Paket rotorskog lima

Paket rotorskog lima sastoji se od „Rotorskog lima“ i „Krajnjeg rotorskog lima“. Razlika između limova je u debljini, a dimenzije su im jednake. Debljine limova su standardizirane te mogu biti 0.35 mm, 0.5 mm, 0.65 mm i 1 mm. Najčešće je rotorski lim debljine 0.5 mm, a krajini rotorski lim je debljine 1 mm. Slogovi lima ili trake u kolutima dolaze na prešu i oblikuju se prema crtežu. Prvo je potrebno dobiti oblik, te vanjski i unutarnji promjer. Zatim se isječe utor na unutarnjem promjeru koji služi za centriranje, te se na kraju rade utori za ulaganje štapova na vanjskome promjeru. „Rotorski lim“ i „Krajnji rotorski lim“ jednakih su dimenzija.

Materijal rotorskog lima je M330-50A. To je hladnovaljani neorijentirani elektrolim (traka), koji je završno žaren.



*Slika 2.2 Rotorski lim*



*Slika 2.3 Krajini rotorski lim*

## 2.2. Vratilo

Vratilo je dio motora preko kojega se prijenosi mehanička energija. Na vratilo se montiraju dijelovi rotora i vratilo se naslanja na ležajeve. Vratilo se završno obrađuje brušenjem nakon paketiranja na mjestima na kojima se naslanja na ležajeve.

Materijal:

Čelik za poboljšavanje

HRN: Č4732

DIN: 42CrMo4

Svojstva:

Zatezna čvrstoća $R_m$=1000 N/mm$^2$

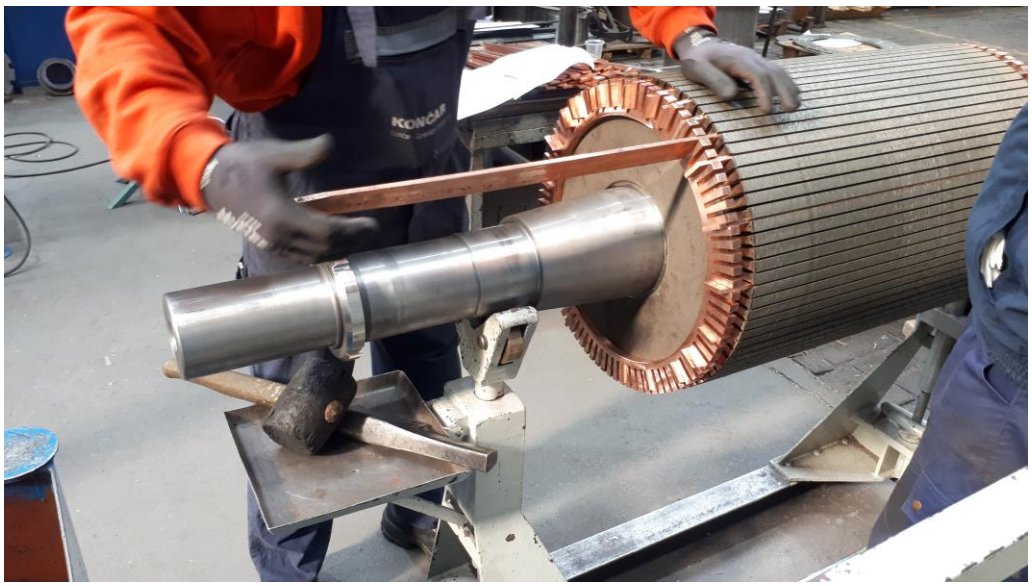
Granica plastičnosti $R_e$=750 N/mm$^2$

EURONORM EN 10204

A-test izdan od neovisnog inspektora na zahtjev kupca

EN 10228-3; klasa 3

- nerazorno ispitivanje - ultrazvučno

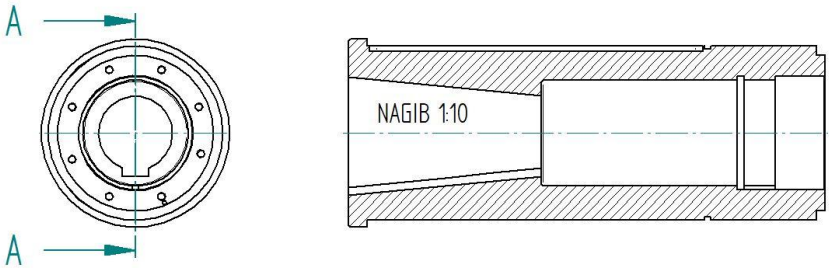


*Slika 2.4 Vratilo sa montiranim paketom kod ulaganja štapova*

## 2.3. Glavina rotora

Glavina rotora je dio na koji se upreša paket rotorskog lima i osigurava od pomicanja. Glavina rotora navlači se na vratilo i služi samo za mehaničku vezu dijelova rotora. Postoje izvedbe rotora koje se isporučuju samo s glavinom rotora, a kupac montira rotor na vratilo.

Sirovina je toplo valjana okrugla čelična šipka različitih promjera, ovisno o vrsti i namjeni elektromotora. Glavina rotora se tokari, brusi, buši, gloda i dubi. U osnovi glavine rotora su jednakog oblika, te se razlikuju samo u dimenzijama ovisno o karakteristikama motora.




*Slika 2.5 Glavina rotora u presjeku*

Materijal:
Čelik za poboljšavanje
HRN: Č1530
DIN: C45

Svojstva:
Zatezna čvrstoća $R_m$=650 N/mm$^2$
Granica plastičnosti $R_e$=430 N/mm$^2$



*Slika 2.6 Glavina rotora*

## 2.4. Ventilator

Ventilator je dio rotora koji služi za hlađenje rotorskog paketa. Ovisno o vrsti elektromotora, moguće su izvedbe rotora bez ventilatora, te s jednim ili s više ventilatora. Ventilator je izrađen iz zavarene čelične konstrukcije, a obrađuje se na mjere prema konstrukcijskom zahtjevu i montira u završnoj fazi kod balansiranja rotora. Izvedbe bez ventilatora su specijalne izvedbe rotora, gdje se rotor hladi  rashladnim sredstvom.

Materijal:

Konstrukcijski čelik

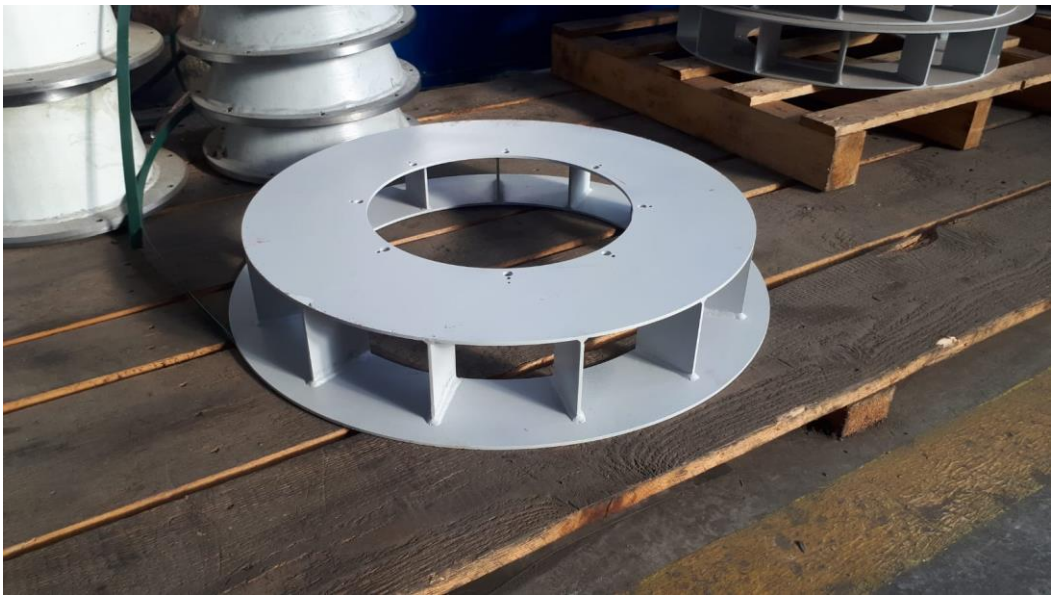
HRN: Č.0562

DIN: ST52-3

Svojstva:

Zatezna čvrstoća $R_m$=490 N/mm$^2$

Granica plastičnosti $R_e$=345 N/mm$^2$



*Slika 2.7 Neobrađeni ventilator*

## 2.5. Glavina ventilatora

Glavina ventilatora služi za mehaničko spajanje ventilatora i glavine rotora u cjelinu. Na veću prirubnicu glavine ventilatora montira se ventilator pomoću vijaka, a manja prirubnica spaja se vijcima za glavinu rotora. Materijal glavine ventilatora je zavareni konstrukcijski čelik, a postoje i lijevane izvedbe glavine. Glavine ventilatora su jednakog oblika i različitih dimenzija, ovisno o karakteristikama motora. Glavina ventilatora prolazi kroz proces tokarenja i bušenja. Izvedba rotora može biti i bez glavine ventilatora, a tada se ventilator montira direktno na vratilo.

Materijal:

Konstrukcijski čelik

HRN: Č.0361

DIN: R St37-2

Svojstva:

Zatezna čvrstoća $R_m$=370 N/mm$^2$

Granica plastičnosti $R_e$=240 N/mm$^2$



*Slika 2.8 Glavina ventilatora*

## 2.6. Rotorski štap

Rotorski štap izrađen je od bakra i on je vodič. Svaki od štapova predstavlja jednu fazu. Štapovi se provlače kroz utore i leme sa svake strane na kratkospojni prsten. Ovo je najčešća izvedba kod motora srednjih i većih snaga. Štapovi dolaze u sirovome obliku točnih dimenzija, te se glodanjem obrađuju samo konusi na krajevima štapova, zbog lemljenja na kratkospojni prsten u procesu montaže.

Materijal:

Visokoprovodljivi elektrolitički bakar

DIN: E-Cu58

EN: Cu-ETP



*Slika 2.9 Rotorski štap*

## 2.7. Kratkospojni prsten

Kratkospojni prsten izrađen je od bakra i na njega se zavaruju rotorski štapovi. Kao sirovina, kratkospojni prsten dolazi u obliku prstena na kojem se glodaju utori za rotorske štapove. Broj utora ovisi o vrsti motora.



*Slika 2.10 Obrada kratkospojnog prstena*

Materijal:

Visokoprovodljivi elektrolitički bakar

DIN: E-Cu58

EN: Cu-ETP



*Slika 2.11 Kratkospojni prsten*

## 2.8. Tlačna ploča

Na tlačnu ploču se slažu limovi kod paketiranja. Tlačnom pločom započinje i završava rotorski paket. Na tlačnu ploču slaže se rotorski lim, a ona služi i za ravnomjernu raspodjelu sila kod prešanja limova. Postoji više različitih izvedbi tlačnih ploča ovisno o izvedbi elektromotora, a dvije su najosnovnije ovisno o vrsti hlađenja.

Materijal:

Konstrukcijski čelik

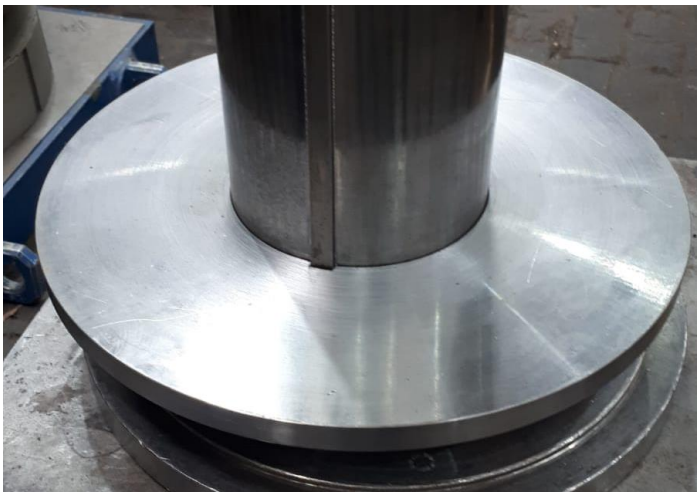
HRN: Č.0361

DIN: RTS 37-2

Svojstva:

Zatezna čvrstoća $R_m$=370 N/mm$^2$

Granica plastičnosti $R_e$=240 N/mm$^2$



*Slika 2.12 Tlačna ploča postavljena na napravu za paketiranje*



*Slika 2.13 Tlačna ploča sa provrtima za hlađenje paketa*

# 3. Montaža rotora

Nakon što se obrade limovi, potrebno ih je složiti na napravu za paketiranje, kako bi se kasnije mogli prešati u paket. Prešaju se pod određenim silama koje se odrede računski. Nakon prešanja slijedi kontrola mjera prema kontrolno ispisnom propisu, te ako mjere zadovoljavaju, proces se može nastaviti. Paket je potrebno uprešati na glavinu rotora, ali prije prešanja, potrebno ga je zagrijati na temperaturu od 100 °C do 150 °C. Nakon zagrijavanja paket je spreman za uprešavanje na glavinu rotora i osiguravanje od pomicanja. Osigurava se poluprstenovima, a svaki poluprsten se na paketu zavaruje na 4 mjesta. Sklop je zatim potrebno montirati na pomoćnu osovinu, a nakon toga počinju se ulagati štapovi simetrično u odnosu na paket. Štapovi se u utorima osiguravaju ručnim raskivanjem na 3 mjesta, nakon čega se kavez lemi na tvrdo.

Slijedi utiskivanje štapova tako da se zubi paketa nabijaju prema sredini paketa, pa se štapovi kaveza utiskuju i raskivaju izvana uz paket obostrano, prema nacrtu. Nakon što je sve posloženo, rotor se tokari. Nakon tokarenja rotora potrebno je očistiti srh i slijedi kontrola prema određenom postupku. Ako sve mjere zadovoljavaju, kreće se sa balansiranjem rotora. Kod balansiranja se utezi zavaruju na tlačnu ploču prema potrebi. Nakon toga montira se ventilator na rotor. Balansira se ventilator i kontrolira cijeli sklop rotora. Nakon što su ventilator i rotor balansirani, vrši se kontrola balansiranja. Ako kvaliteta balansiranja zadovoljava prema kontrolno ispisnom propisu, može se utisnuti broj, odnosno dio rotora i tvornički broj motora na čelo prednje strane glavine. Rotor se temeljno boji u 2 sloja, osim dosjednih površina, konusa glavine i dosjeda ventilatora. Slijedi demontaža pomoćne osovine i rotor se može kompletirati.

## 3.1. Slaganje limova – priprema za paketiranje

Obrađeni limovi slažu se na napravu za paketiranje, koju je potrebno pripremiti prije slaganja limova. Naprava se stavlja na pogodno mjesto, postavlja se temeljna ploča i naprava je spremna za slaganje limova.



*Slika 3.1 Naprava za paketiranje sa postavljenom tlačnom pločom*

Prvo se slaže slog krajnjeg lima na tlačnu ploču tako da se centrira preko klina. Ručnim (gumenim) udaračem udara se po slogu dok potpuno ne nalegne na temeljnu ploču.



*Slika 3.2 Ulaganje krajnjeg lima na napravu za paketiranje*

Nakon što se slog krajnjeg lima postavi na temeljnu ploču, na njega se slaže slog rotorskog lima. Uzima se dvadesetak limova (10 mm) i centrira prema klinu, te ručnim udaračem udara po slogu sve dok potpuno ne nalegne na slog krajnjeg lima. Postupak se ponavlja dok se ne postigne propisana visina (za svaki rotor je drugačija), tj. dok se propisani broj limova „n“ ne složi na trn.

Na postavljeni slog rotorskog lima ponovno se postavlja slog krajnjeg lima. Slog krajnjeg lima centrira se prema klinu te složi tako da u potpunosti nalegne na rotorski lim.

Nakon toga se na slog krajnjeg lima postavlja tlačna ploča, a na nju tlačni sklop, te se privijaju matice na vijke i vijčana karika na napravu za paketiranje.

## 3.2. Prešanje paketa - paketiranje

Naprava sa montiranim rotorskim limom pomoću očnog vijka, dizalicom se postavlja na stol preše.



*Slika 3.3 Paket spreman za prešanje*

Prizme se postavljaju na tlačni sklop naprave i ravnomjerno raspoređuju po vanjskom dijelu. Važno je da budu postavljene okomito kako ne bi došlo do njihovog pomicanja prilikom procesa prešanja.

Rotorski paket spreman je za prešanje. Najprije se rotorski paket predpreša zbog otklanjanja neravnina na limu, te ostvarivanja pritiska među limovima. Sila predprešanja ($P_1$) je za 25% veća od sile prešanja ($P_2$)

Za silu prešanja ($P_2$) potrebno je poznavati površinu rotorskog lima ($\mathrm{cm}^2$). Tu površinu potrebno je množiti sa 2 $MPa$ te dobivena vrijednost predstavlja silu prešanja ($P_2$).

$$P_1=1{,}25 \cdot S \cdot P \tag{3.1}$$

$$P_2=S \cdot P \tag{3.2}$$

gdje je

$S$ – površina lima, $\mathrm{cm}^2$



*Slika 3.4 Prešanje paketa*

Nakon prešanja slijedi kontrola i korigiranje. Visina „H“ koja se nalazi na crtežu sklopa kontrolira se pod pritiskom sile prešanja ($P_2$).

Ukoliko visina paketa ne odgovara propisanoj veličini, potrebno je otpustiti prešu, skinuti prizme, tlačni sklop, tlačnu ploču i slog krajnjeg lima, te dodati ili oduzeti potreban broj limova, da bi se dobila propisana visina. Nakon toga se obrnutim redoslijedom slaže i ponovno silom prešanja ($P_2$) preša paket.

Postupak se ponavlja dok se ne dobije propisana visina.

Kada se postigne propisana visina, paket limova steže se pomoću matica tako da paket ostane kompaktan i osiguran. Matice se stežu silom prešanja ($P_2$)




*Slika 3.5 Stezanje paketa*

Nakon stezanja, prizme se skidaju sa tlačnog sklopa i odlažu, a isprešava se i naprava za paketiranje. Naprava se mora i isprešati zbog zagrijavanja paketa i naprešavanja paketa na glavinu rotora.



*Slika 3.6 Postavljanje paketa na glavinu osovine*



*Slika 3.7 Paket spreman za naprešavanje*

Paket se zagrijava na $T$=100 °C i drži na toj temperaturi 5 sati, uz kontrolu termometrom.

## 3.3. Naprešavanje paketa

Nakon zagrijavanja, zagrijani paket naprešava se na glavinu rotora i osigurava. Eventualna oštećenja na utoru glavine rotora i klina potrebno je očistiti finom turpijom i postaviti klin na utor glavine rotora.

Preko klina postavlja se bakreni komad, te se čekićem udara po bakru sve dok klin čitavom svojom dužinom potpuno ne nalegne na dno utora.

Sklop se zatim postavlja na kolica preše. Podložni prsten postavlja se na paketni stol preše i glavina rotora sa klinom postavlja se na podložni prsten. Potrebno je pripaziti da glavina rotora zauzme pravilni vertikalni položaj.

Nakon toga se tlačni prsten postavlja na glavinu rotora.



*Slika 3.8 Naprešavanje glavine rotora u paket*

Predgrijani paket rotorskih limova se pomoću naprave postavlja na glavinu rotora, te se zatim namješta utor paketa na klin glavine osovine.

Pokretnim stolom preše dovede se paket ispred gornjeg jarma preše, a odstojni komadi postavljaju se na napravu i raspoređuju ravnomjerno po obodu tlačnog sklopa.

Rotorski paket se nakon toga napreša na glavinu rotora. Sila prešanja iznosi 200-400 kN (20-40 tona). Poluprsteni se postavljaju u utor na glavini rotora tako da pridržavaju rotorski paket. Nakon prešanja skida se glavina rotora sa paketom i napravom sa pokretnoga stola preše, te se

ostavlja u vertikalnom položaju na pogodnom mjestu. Prihvatno se zavaruju poluprsteni za tlačnu ploču na 4 mjesta po 30 mm dužine, ali ne na glavinu rotora. Matice se odvrnu i naprava se skida sa paketa.



*Slika 3.9 Zavarivanje poluprstena (osiguranje)*

## 3.4. Montaža pomoćne osovine

Pomoćna osovina je naprava na koju se montira glavina rotora sa paketom i koja služi kao zamjena za pravu osovinu kod obrade i balansiranja rotora. Postoje izvedbe rotora bez glavine rotora, pa se u tom slučaju na pomoćne osovine slaže rotorski paket.



*Slika 3.10 Pomoćna osovina s rebrima*



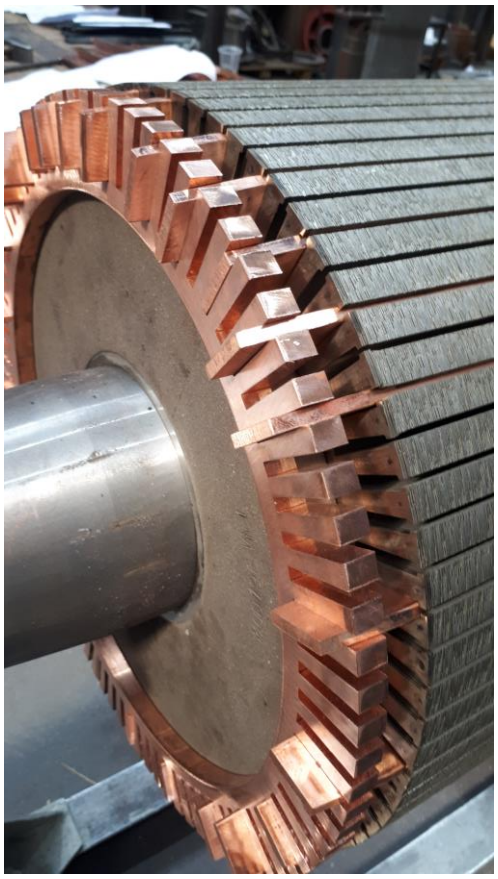
*Slika 3.11 Pomoćna osovina s konusom*

## 3.5. Ulaganje štapova

Štapovi se ulažu simetrično u odnosu na paket, prema tehnološkom nacrtu.



*Slika 3.12 Ulaganje štapova*



*Slika 3.13 Uloženi štapovi*

Štapovi se u utorima osiguravaju raskivanjem ručno na 3 mjesta prema nacrtu.



*Slika 3.14 Alat za raskivanje štrapova*



*Slika 3.15 Raskivanje štapova*

## 3.6. Lemljenje kaveza

Poslije završenog lemljena jedne strane rotora prelazi se odmah na lemljenje druge strane. Dizalicom se rotor skida sa naprave i odlaže. Potrebno je kontrolirati čistoću lemljenih površina i veličinu zazora prije lemljenja, kao i popunjenost spoja lemom nakon lemljenja.

Kontrola prije lemljenja:

- kratkospojni prstenovi moraju biti čisti bez masnoće i prljavštine
- zazor kod lemljenja ne smije biti veći od 0,5 mm
- površine koje se leme moraju biti dobro prilagođene



*Slika 3.16 Zalemljeni štapovi na kratkospojnom prstenu*

## 3.7. Utiskivanje štapova

Štapove kaveza potrebno je alatom raskovati izvana radi dodatnog osiguranja sa obje strane rotora.



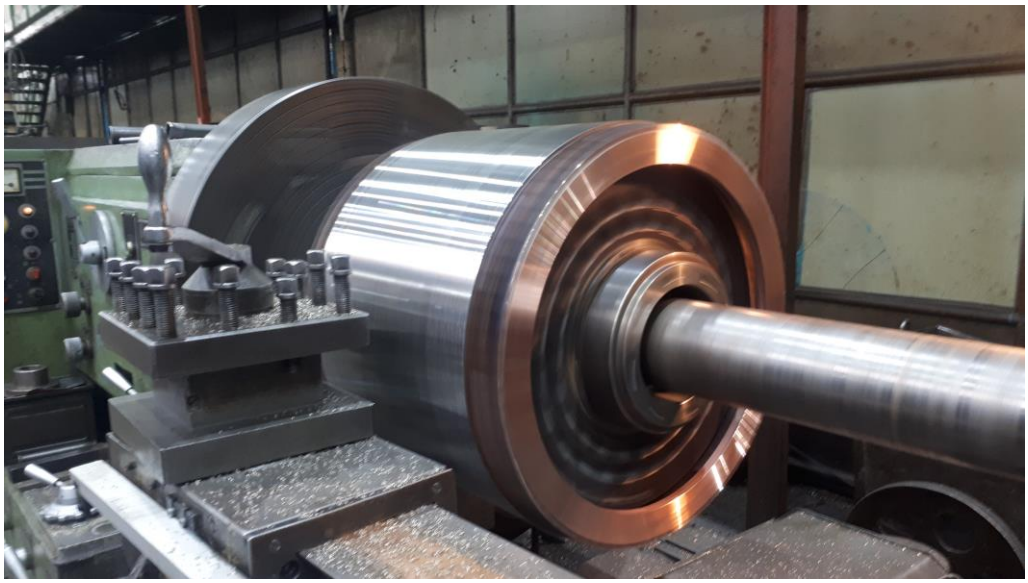

*Slika 3.17 Alat za utiskivanje štapova*



*Slika 3.18 Utiskivanje štapova*

## 3.8. Tokarenje rotora

Paketiran rotor tokari se prije balansiranja. Potrebno je paket tokariti na mjeru skidanjem viška materijala. Mjera na koju se tokari paket određuje se mjerenjem statorskog paketa i ovisi o veličini zračnog raspora.



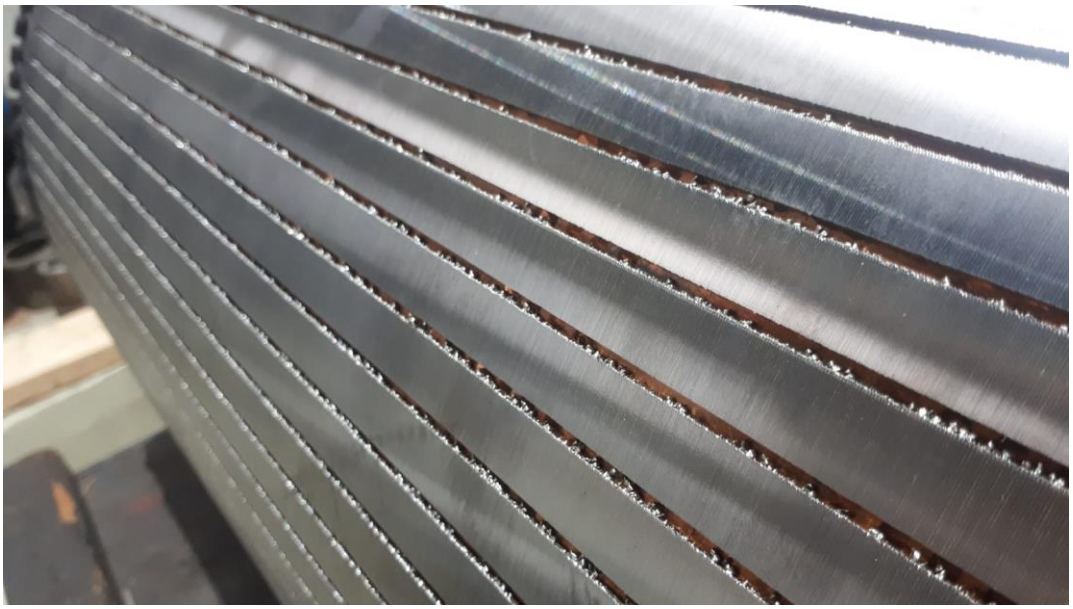
*Slika 3.19 Tokarenje rotora*

## 3.9. Čišćenje srha

Kod tokarenja rotorskog paketa dolazi do zatvaranja utora po obodu rotora. Srh koji zatvara utore mora se obavezno odstraniti. Odstranjivanje se vrši trokutastim sjekačem koji se postavi na početak utora sa gornje strane, te se snažnim pokretima vuče po cijeloj dužini utora. Radnja se ponavlja sve dok utor nije u potpunosti očišćen. Nakon toga se prelazi na sljedeći utor i tako redom, sve dok se ne očisti posljednji utor.

Za potpuno očišćen utor smatra se utor koji po čitavoj svojoj dužiti nema ni jedan komad srha od tokarenja.

Prije odlaganja rotora potrebno je rotorski paket po čitavom obodu očistiti brusnim papirom, kako vi se odstranili i najsitniji ostaci srha, a rotor poprimio estetski lijep izgled.



*Slika 3.20 Srh koji je potrebno počistiti*

## 3.10. Balansiranje rotora

Rotor se postavlja na stroj za balansiranje i spaja sa zglobnim vratilom. Podešava se broj okretaja na stroju i zakoče titrajni mostovi.

Stroj se uključuje preko stepenaste sklopke, a neposredno prije postizanja nazivnog broja okretaja otkoče se titrajni mostovi. Sada se očita izvorno neuravnoteženje i bilježi na predbilježnu pločicu. Mjerni uređaj se podešava, zakoče se titrajni mostovi i stroj se zaustavlja. Određuju se utezi za tariranje i postavljaju u ravnine izjednačenja.

Stroj se ponovno uključuje i prije postizanja punog broja okretaja otkoče titrajni mostovi. Pokazno neuravnoteženje regulira se na cijeli iznos prema jedinici izjednačenja (odnos podjela na skali i težine za titranje). Sada se uključuje preklopnik, stavljaju zaštitni poklopci i zakoče titrajni mostovi. Stroj se isključuje i skidaju se utezi za tariranje.

Prekontrolira se i namjesti dugmad za namještanje električnog okvira kao i fini regulator. Uključuje se stroj i pusti da se zaleti. Neposredno prije postizanja nazivnog broja okretaja otkoče se titrajni mostovi.

Na watmetru se očitava vrijednost neuravnoteženja i bilježi se u predbilježnu pločicu. Ponovno se zakoče titrajni mostovi i stroj se isključuje.

Postavljaju se težine (utezi) prema očitanim vrijednostima na točno definirana mjesta, u lijevoj, a potom i desnoj ravnini izjednačenja.

Stroj se uključuje,  pusti da se zaleti i malo prije postizanja nazivnog broja okretaja otkoče se titrajni mostovi. Kontrolira se postignuto uravnoteženje. Očitane vrijednosti upisuju se u predbilježnu pločicu. Zakoče se titrajni mostovi i isključuje stroj.

Ukoliko očitana neuravnoteženja leže unutar dozvoljenih granica, rotor se odvaja od zglobnog vratila i skida sa stroja. Time je rotor uravnotežen.

Na rotor se nakon toga montira ventilator i cijeli postupak uravnoteženja se ponavlja.



*Slika 3.21 Balansiranje rotora*

Ako očitane vrijednosti neuravnoteženja ne zadovoljavaju postavljene zahtjeve, vrši se popravak. Iznova se ponovno provede kontrolno okretanje i ako su vrijednosti neuravnoteženja unutar granica, rotor se skida sa stroja.

## 3.11. Bojanje rotora

Antikorozijska zaštita (AKZ) pokrivnim premazom sastoji se od dva sloja pokrivnog premaza, a površine je potrebno očistiti prije bojanja.

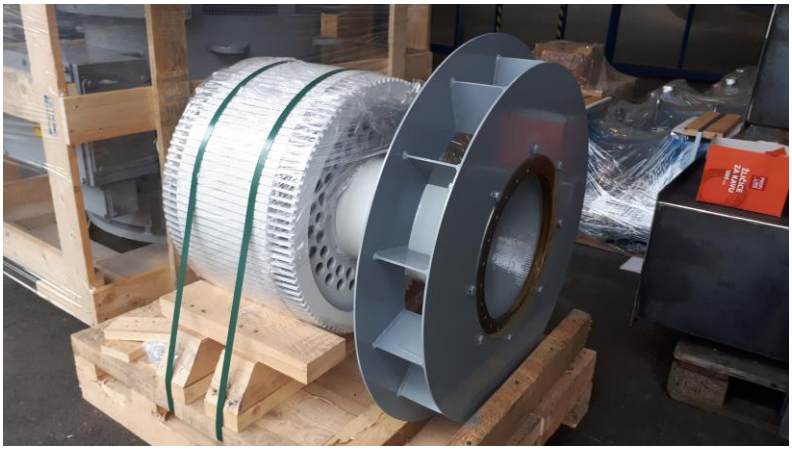
Površine se odmašćuju nakon strojne obrade sredstvom „SOLVEN ELO 10 INA“. Nakon odmašćivanja površine se suše komprimiranim zrakom.

Pokrivna boja nanosi se pneumatskim prskanjem u jednome sloju debljine 50 µm. Priključak zraka treba biti spojen na mrežu s filtrom i manometrom. Pritisak zraka treba iznositi 0,35-0,45 MPa, a veličina sapnice treba biti 1,5-1,8 mm. Boja se nanosi u jednakomjernim prugama tako da svaka sljedeća pruga prekriva 50% prethodne.

Pokrivni premaz suši se 24 sata na temperaturi okoline i zatim se postupak bojanja ponavlja.

Konus glavine rotora i dosjed ventilatora se ne zaštićuju bojom.

Poslije bojanja pomoćna osovina skida se sa rotora.



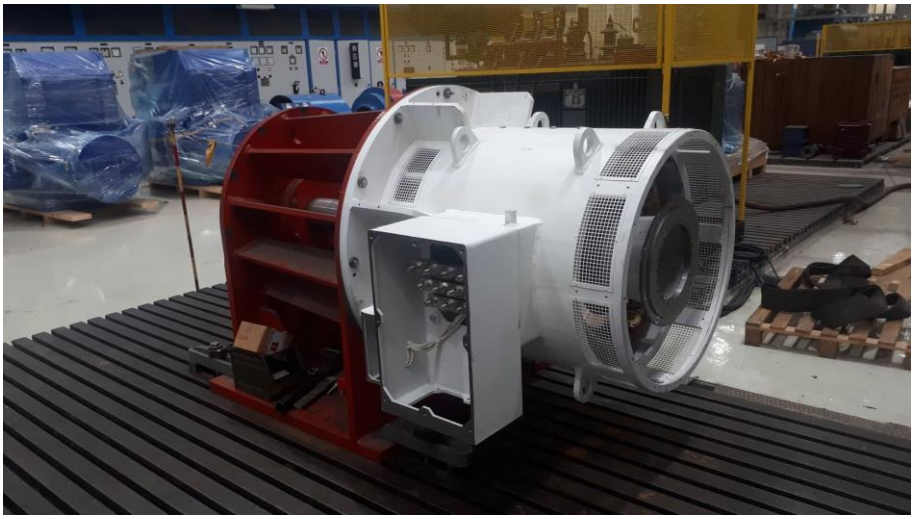
*Slika 3.22 Zaštićen rotor bez vratila*



*Slika 3.23 Zaštićen rotor sa vratilom*

# 4. Završna kontrola i ispitivanje

Završna kontrola i ispitivanje vrše se nakon balansiranja rotora. Na napravu za ispitivanje postavlja se kućište sa statorom i zatim se na pomoćnu osovinu stroja postavlja balansirani rotor.



*Slika 4.1 Priprema motora za ispitivanje*

Sklop se najprije kontrolira vizualno, nakon čega slijedi ispitivanje zračnog raspora. Zračni raspor ispituje se limovima različitih debljina, koji se ulažu između rotora i statora na više mjesta, a vrijednosti se upisuju u kontrolne obrasce. Ako su vrijednosti zračnog raspora unutar dozvoljenih mjera, na motor se postavljaju senzori i kućište se zatvara poklopcem. Ako vrijednosti ne odgovaraju, rotor se demontira, te je potrebno brusiti ili fino tokariti rotorski paket.



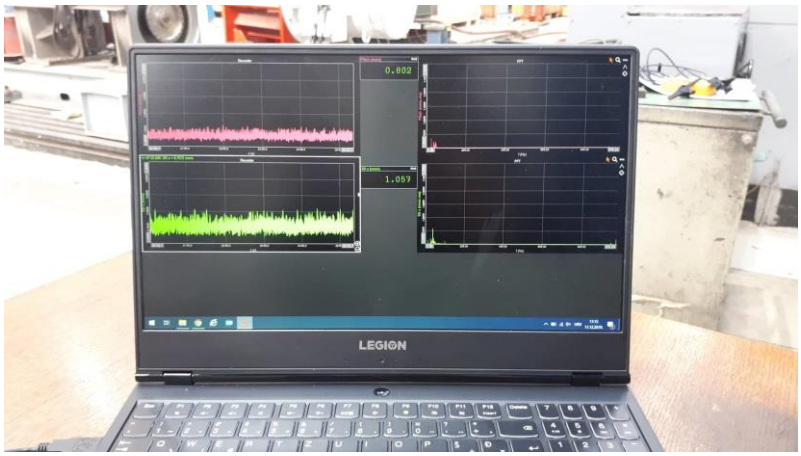
*Slika 4.2 Ispitivanje zračnog raspora limovima*

Nakon postavljanja senzora i poklopaca, potrebno je motor priključiti na električnu mrežu i sada se može pustiti u probni rad.



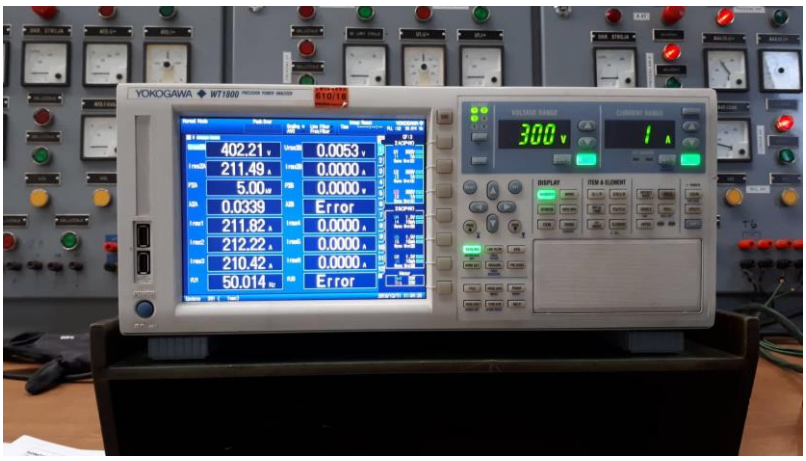

*Slika 4.3 Zatvaranje kućišta i spajanje motora na mrežu*

Na motoru se mjere vibracije koje se očitavaju na ekranu stolnog računala. Program koji se koristi razvijen je u tvrtki „Končar – Institut za elektrotehniku“.




*Slika 4.4 Mjerenje vibracija na motoru*

Na analizatoru snage ispituju se napon, struja, snaga, faktor struje (cos φ), struje po fazama i frekvencija. Vrijednosti se upisuju u testni obrazac, koji se dostavlja iz odjela proračuna. Ako sve vrijednosti zadovoljavaju rotor se može demontirati te bojati AKZ.




*Slika 4.5 Rezultati ispitivanja na analizatoru snage „YOKOGAWA WT1800“*

# 5. Primjena visokonaponskih asinkronih elektromotora

Visokonaponski asinkroni elektromotori imaju svoju širu uporabu, ovisno proračunu i funkciji za koju su namijenjeni. Mogu služiti kao teretni motori za niskopodne tramvaje, vlakove, pumpe za naftu ili vodu, pumpe u toplanama, brodske motore, dizalice i drugo.

Primjeri primjene elektromotora:

Serija motora 6AJV služi za pogon pumpi, ventilatora, drobilica, dizala i kompresora. Motori se isporučuju u 8 različitih veličina, ovisno o namjeni motora, a njihova snaga može biti od 160 – 15.000 kW.

Specijalni motori za bušenje upotrebljavaju se na naftnim bušotinama. Izrađuju se u 4 različite veličine, a njihova snaga može biti od 300 – 1000 kW. Dizajnirani su tako da mogu raditi na temperaturama od -40°C, te moraju biti protueksplozivni zbog radne okoline.



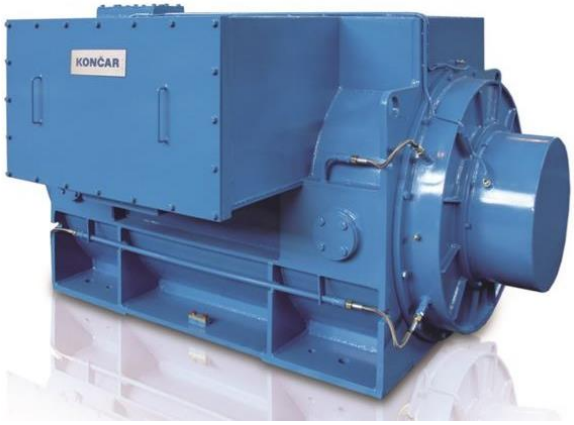

*Slika 5.1 Vodom hlađeni motor 6AJV*



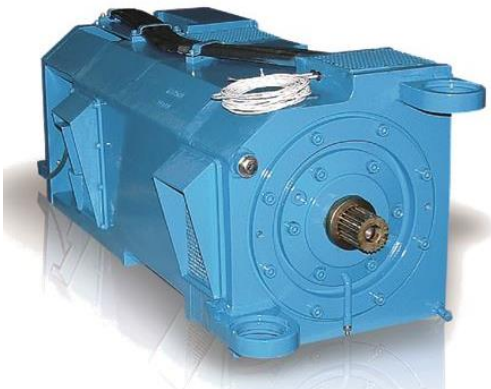
*Slika 5.2 Specijalni motor za bušenje*

Brodski vodom hlađeni motori služe za brodski pogon i kao vitlo. Konstruiraju se prema želji kupca, a njihova snaga kreće se od 325 – 4800 kW.

V6AOJ 205-04 su motori za pogon niskopodnih tramvaja i njihova snaga je 65 kW.




*Slika 5.3 Brodski vodom hlađeni motor*



*Slika 5.4 V6AOJ 205-04 motor*

# 6. Zaključak

U završnome radu cilj je bio prikazati svrhu izrade pojedinih dijelova rotora i postupak montaže rotora asinkronog visokonaponskog motora.

Izrada dijelova rotora popraćena je međufaznim kontrolama dimenzija i montaža rotora je vrlo zahtjevan proces, gdje se greške moraju izbjeći od samoga početka izrade dijelova.

Greške se mogu pojaviti zbog odstupanja i netočnosti strojeva koji izrađuju pojedine dijelove, a kod procesa montaže od velike važnosti je iskustvo, u pogledu preciznosti i obraćanja pozornosti na detalje.

Postići što veću snagu po kilogramu stroja, te smanjiti buku i vibracije posao je svakog pojedinca u proizvodnom lancu, te se nijedna faza u proizvodnji ne smije zanemariti.

Ovakav posao zahtjeva veliko iskustvo u izradi motora, te zbog same složenosti rotacijskog stroja, poštivanja tolerancija i mogućnosti izrade potiče inženjere na nove ideje te inovativna rješenja, koja mogu ponuditi također sve zahtjevnijem tržištu i kupcima.

U Varaždinu 23. siječnja 2020. 

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

**IZJAVA O AUTORSTVU**
**I**
**SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, NIKOLA MILEC *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom MONTAŽA ROTORA VISOKONAPONSKOG ASINKRONOG MOTORA *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
*(upisati ime i prezime)*

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, NIKOLA MILEC *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom MONTAŽA ROTORA VISOKONAPONSKOG ASINKRONOG MOTORA *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
*(upisati ime i prezime)*

(vlastoručni potpis)

# 7. Literatura

[1] I. Mandić, V. Tomljenović, M. Pužar: Sinkroni i asinkroni električni strojevi, Priručnici tehničkog veleučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012

[2] Interni dokumenti Končar – Generatori i motori d.d.

[3] Proizvodni propisi Končar – Generatori i motori d.d.

[4] Kontrolno ispitni propisi Končar – Generatori i motori d.d.

[5] Upute rukovoditelja, majstora

Internet izvori:

[6] https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/pmf/osnove_strojarstva/meh_svojstva_celika.pdf

[7] http://www.aurubis-stolberg.com/wdb/band/eng/Copper/Cu-ETP-PNA%20211_EN.pdf

# Popis slika

Slika 2.1 Kavezni rotor asinkronog motora ..... 7
Slika 2.2 Rotorski lim ..... 8
Slika 2.3 Krajini rotorski lim ..... 8
Slika 2.4 Vratilo sa montiranim paketom kod ulaganja štapova ..... 9
Slika 2.5 Glavina rotora u presjeku ..... 10
Slika 2.6 Glavina rotora ..... 10
Slika 2.7 Neobrađeni ventilator ..... 11
Slika 2.8 Glavina ventilatora ..... 12
Slika 2.9 Rotorski štap ..... 13
Slika 2.10 Obrada kratkospojnog prstena ..... 14
Slika 2.11 Kratkospojni prsten ..... 14
Slika 2.12 Tlačna ploča postavljena na napravu za paketiranje ..... 15
Slika 2.13 Tlačna ploča sa provrtima za hlađenje paketa ..... 15
Slika 3.1 Naprava za paketiranje sa postavljenom tlačnom pločom ..... 17
Slika 3.2 Ulaganje krajnjeg lima na napravu za paketiranje ..... 17
Slika 3.3 Paket spreman za prešanje ..... 18
Slika 3.4 Prešanje paketa ..... 19
Slika 3.5 Stezanje paketa ..... 20
Slika 3.6 Postavljanje paketa na glavinu osovine ..... 20
Slika 3.7 Paket spreman za naprešavanje ..... 20
Slika 3.8 Naprešavanje glavine rotora u paket ..... 21
Slika 3.9 Zavarivanje poluprstena (osiguranje) ..... 22
Slika 3.10 Pomoćna osovina s rebrima ..... 22
Slika 3.11 Pomoćna osovina s konusom ..... 22
Slika 3.12 Ulaganje štapova ..... 23
Slika 3.13 Uloženi štapovi ..... 23
Slika 3.14 Alat za raskivanje štrapova ..... 23
Slika 3.15 Raskivanje štapova ..... 23
Slika 3.16 Zalemljeni štapovi na kratkospojnom prstenu ..... 24
Slika 3.17 Alat za utiskivanje štapova ..... 24
Slika 3.18 Utiskivanje štapova ..... 25
Slika 3.19 Tokarenje rotora ..... 25
Slika 3.20 Srh koji je potrebno počistiti ..... 26

Slika 3.21 Balansiranje rotora .....27
Slika 3.22 Zaštićen rotor bez vratila .....28
Slika 3.23 Zaštićen rotor sa vratilom .....28
Slika 4.1 Priprema motora za ispitivanje .....29
Slika 4.2 Ispitivanje zračnog raspora limovima .....29
Slika 4.3 Zatvaranje kućišta i spajanje motora na mrežu .....30
Slika 4.4 Mjerenje vibracija na motoru .....30
Slika 4.5 Rezultati ispitivanja na analizatoru snage „YOKOGAWA WT1800“ .....30
Slika 5.1 Vodom hlađeni motor 6AJV .....31
Slika 5.2 Specijalni motor za bušenje .....31
Slika 5.3 Brodski vodom hlađeni motor .....31
Slika 5.4 V6AOJ 205-04 motor .....31