

Ispitivanje i proračun gubitaka trofaznog asinkronog motora KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0,37 kW)

Lauš, Mato

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:266768>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Stručni studij

**ISPITIVANJE I PRORAČUN GUBITAKA TROFAZNOG
ASINKRONOG MOTORA
KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0,37 kW)**

Završni rad

Mato Lauš

Osijek, 2022.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak	2
2. ASINKRONI STROJEVI	3
2.1. Asinkroni motor i generator	3
2.2. Građa i princip rada asinkronog motora	4
2.2.1. Građa asinkronih motora	4
2.2.2. Princip rada asinkronih motora	5
3. KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0.37 kW)	6
3.1. Tehnički podatci	6
4. ISPITIVANJA ASINKRONIH MOTORA	7
4.1. Ispitivanje u proizvodnji	7
4.2. Ispitivanje u praznom hodu	7
4.2.1. Mjerenje otpora namota	7
4.2.2. Postupak provođenja testiranja u praznom hodu	9
4.3. Ispitivanje u kratkom spoju	11
4.3.1. Postupak provođenja testiranja u kratkom spoju	11
5. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTA MJERENJA	12
5.1. Grafički prikaz ovisnosti za pokus praznog hoda	12
5.2. Grafički prikaz ovisnosti za pokus kratkog spoja	14
6. PRORAČUN GUBITAKA ASINKRONOG MOTORA	18
6.1. Gubitci iz pokusa praznog hoda	18
6.2. Gubitci iz pokusa kratkog spoja	20
6.3. Grafički prikaz promjene gubitaka	21
7. GUBITCI ASINKRONOG MOTORA KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0,37 kW)	24
8. ZAKLJUČAK	25
LITERATURA	26
SAŽETAK	27

ABSTRACT	28
ŽIVOTOPIS.....	29

1. UVOD

Kroz povijesni razvoj tehnologije nastoje se postići bolji rezultati u raznim tehničkim veličinama. Jedna od najvažnijih veličina modernog vremena jest efikasnost promatranog sustava i napretkom tehnologije i materijala nastoji se poboljšati koliko god je to moguće. Asinkroni motori zbog svoje jednostavnosti u izradi i velike pouzdanosti česti su izbor motora za elektromotorne pogone. Međutim kao i svaki sustav tako i pogon s asinkronim motorom stvara gubitke u određenom obliku. Veliki udio mase asinkronog motora čini željezna jezgra koju je potrebno magnetizirati što stvara gubitke tako da motor troši energiju bez da je uopće počeo obavljati koristan rad, također namoti asinkronog motora najčešće su izrađeni od bakra i njima teče struja. Protjecanjem struje kroz materijal, materijal se zagrijava što stvara dodatne gubitke jer uložena energija nije utrošena u koristan rad nego se gubi isijavanjem topline u okolinu. Kako bi se ostvarile što veće uštede električne energije tako i ekonomske prilikom odabira motora jedan od kriterija mogu biti i gubici koje stvara motor u pogonu.

U ovome radu provedeni su proračun i analiza gubitaka za trofazni asinkroni motor „KONČAR“, model: 5.4AZ 71B – 4 snage 0,37kW. Cilj je bio odrediti gubitke u željezu koji nastaju magnetiziranjem željezne jezgre, gubitke u bakru koji nastaju protjecanjem struje kroz bakreni namotaj motora i dodatne gubitke koje motor stvara zbog trenja i ventilacije.

U drugome poglavlju rada općenito je opisan asinkroni motor, navedeni su njegovi osnovni dijelovi i objašnjen je princip rada.

Treće poglavlje sastoji se od opisa i tehničkih podataka motora koji je korišten za provedbu mjerenja i na čijem primjeru su određeni gubici.

U četvrtom poglavlju su objašnjena testiranja koja se vrše na motoru, objašnjeni su pokusi koji će biti provedeni u svrhu istraživanja, prikazane su sheme prema kojima će motor biti povezan prilikom mjerenja i prikazani su rezultati mjerenja provedenih pokusa.

U petome poglavlju prikazane su grafičke ovisnosti veličina koje su promatrane u provedenim pokusima.

U šestome poglavlju proveden je proračun gubitka korištenog asinkronog motora

1.1. Zadatak

Potrebno je provesti ispitivanja i na temelju dobivenih rezultata mjerenja provesti proračun za analizu gubitaka u asinkronom motoru. Za ispitivanje koristiti asinkroni motor „KONČAR“, model: 5.4AZ 71B – 4 snage 0,37kW. Potrebno je provesti pokus za pogon motora u praznome hodu i pokus motora za pogon u kratkom spoju. U radu treba opisati postupak provođenja pokusa i priložiti rezultate mjerenja. Na temelju dobivenih rezultata mjerenja konstruirati grafove i provesti izračun kako bi se odredili gubici korištenog asinkronog motora, tj. gubici u bakru, gubici u željezu i dodatni gubici zbog trenja i ventilacije.

2. ASINKRONI STROJEVI

Asinkroni strojevi spadaju u grupu izmjeničnih rotacijskih strojeva. Jedna od glavnih karakteristika ovih uređaja, koja ih ujedno i razlikuje od sinkronih strojeva, je razlika između brzine vrtnje rotora i brzine vrtnje okretnog magnetskog polja. Asinkroni stroj možemo promatrati kao pretvornik energije. S obzirom na pretvorbu energije asinkroni stroj možemo promatrati kao motor i kao generator.[1]

2.1. Asinkroni motor i generator

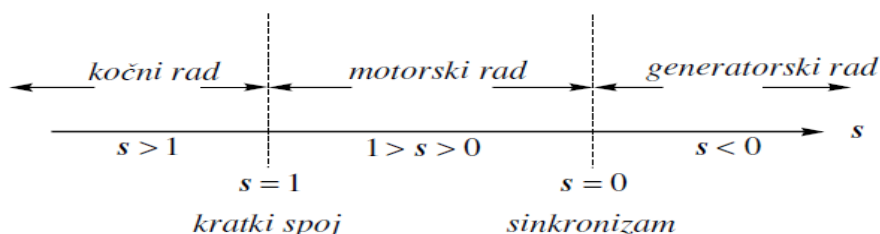
Asinkroni motor jest asinkroni stroj koji vrši pretvorbu električne energije u mehaničku energiju. Za razliku od sinkronih motora, brzina okretnog magnetskog polja jest veća od brzine vrtnje rotora motora. Pojam koji opisuje odnos tih dviju brzina naziva se klizanje koje možemo opisati jednadžbom [4]:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2-1)$$

Gdje je:

- n_s – brzina vrtnje okretnog magnetskog polja
- n – brzina vrtnje rotora asinkronog motora

Prema spomenutoj relaciji za motorski režim rada vrijednost klizanja motora kreće se između 0 i 1. Ako nekakav vanjski moment zavrti osovinu preko brzine okretnog magnetskog polja tada asinkroni stroj prelazi iz motorskog u generatorski režim rada i tako asinkroni stroj vrši pretvorbu mehaničke u električnu energiju. U tome slučaju vrijednost klizanja je negativna.

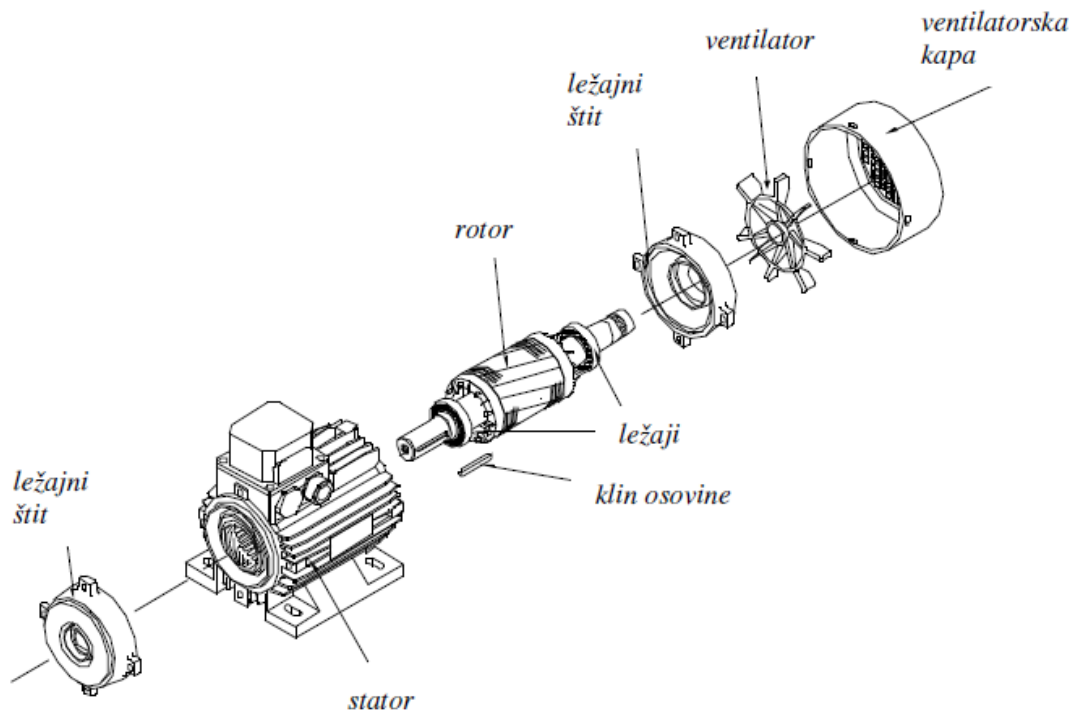


Sl. 2.1. Područje rada asinkronog motora s obzirom na klizanje [1]

2.2. Građa i princip rada asinkronog motora

2.2.1. Građa asinkronih motora

Asinkroni motor sastoji se od pomičnih i nepomičnih dijelova. Dva glavna djela koja omogućuju funkcioniranje asinkronog motora su stator i rotor. Stator asinkronog motora je nepomični dio stroja smješten u kućište zbog zaštite. Izveden je od međusobno izoliranih dinamo limova ako bi se smanjili gubici u jezgri. Oko spomenutih dinamo limova protežu se tri namota koji čine uzbudni namot čiji se izvodi spajaju na napajanje, a zadatak im je stvaranje magnetskog polja. Rotor je pomični dio asinkronog motora koji se također nalazi u kućistu motora i smješten je na osovini unutar statora. U zavisnosti od izvedbe razlikujemo kavezni i kliznokolutni tip rotora. Na samom rotoru proteže se armaturni namot koji postoji da bi se u njemu inducirao napon. Od važnijih dijelova valja još spomenuti ležajeve koji omogućuju jednostavniju rotaciju rotora kao i ventilator koji je zadužen za hlađenje asinkronog motora.[1]



Sl. 2.2. Osnovni mehanički dijelovi asinkronog stroja [1]

2.2.2. Princip rada asinkronih motora

Spajanjem uzbudnog namota , koji se najčešće izrađuje od bakra, na napajanje kroz uzbudni namot poteče struja koja stvori magnetsko polje. Kako na statoru imamo tri spojena međusobno izolirana namota međusobno pomaknuta za 120° pojavi se okretno magnetsko polje. Unutar okretnog magnetskog polja nalazi se armaturni namot rotora u kojemu dođe do induciranja napona. Zbog inducirano napona kroz rotorski će krug poteći struja. Prema Lorentzovom zakonu na vodič protjecan strujom, koji se nalazi u magnetskom polju, će djelovati sila koju možemo izračunati prema sljedećoj jednadžbi [1]:

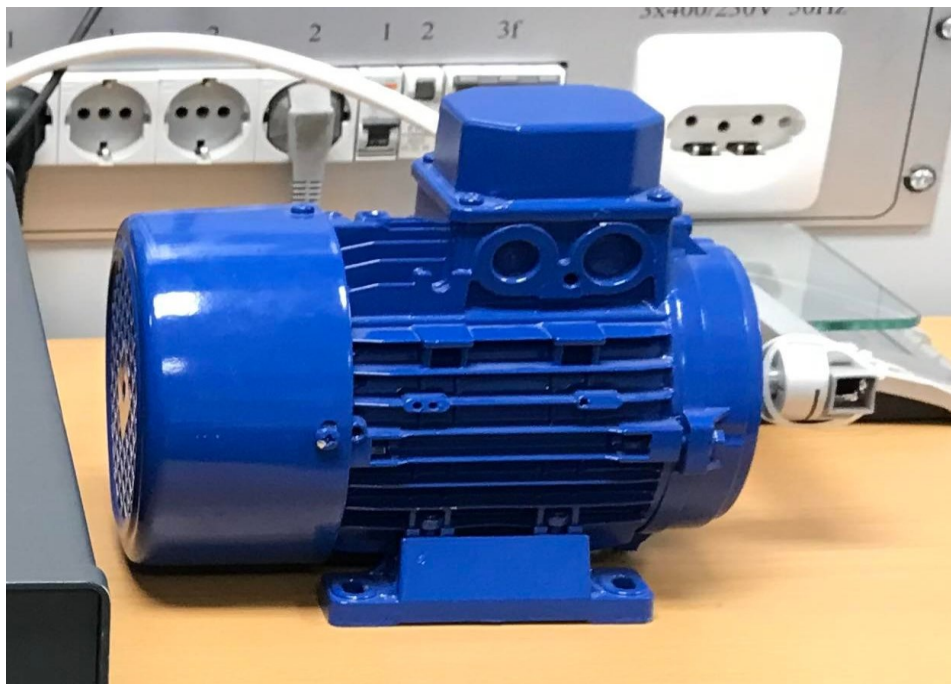
$$\vec{F} = I(\vec{B} \times \vec{l}) \cdot \sin\varphi \quad (2-2)$$

Gdje je:

- F – Sila na vodič u magnetskom polju
- B – magnetska indukcija
- I – struja koja protječe kroz armaturni namot
- $\sin\varphi$ – sinus kuta između vektora magnetske indukcije B i vektora armaturne struje I

3. KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0.37 kW)

Korišteni motor u za kojega ćemo analizirati gubitke jest standardni trofazni kavezni asinkroni motor proizvođača „KONČAR“, model: 5.4AZ 71B – 4 koji je izveden s dva para polova



Sl. 3.1. Asinkroni motor KONČAR 5.4AZ 71B – 4

3.1. Tehnički podatci

Tablica 3.1. Tablica podataka s natpisne pločice

Nazivni napon [V]	400/230
Nazivna struja [A]	1,1/1,9
Nazivna frekvencija [Hz]	50
Nazivna brzina vrtnje [o/min]	1370
Nazivna snaga [kW]	0,37
Nazivna korisnost	0,66
Nazivni moment [Nm]	2,5

4. ISPITIVANJA ASINKRONIH MOTORA

4.1. Ispitivanje u proizvodnji

Svaki asinkroni motor koji nije serijski proizveden prolazi niz testova. Cilj tih testova jest provjeriti ispravnost montiranih dijelova prvenstveno namota i izolacije te provjeriti funkcionira li stroj ispravno, tj. rotira li normalno bez neprimjerene buke i vibracija. Također potrebno je provjeriti zadovoljava li stroj sve deklarirane parametre te je potrebno dizajnirati karakteristike koje kupac dobiva uz motor. Prilikom serijske proizvodnje zbog prevelikog broja strojeva testiraju se samo pojedini primjerci kako bi se provjerilo treba li potencijalno regulirati određeni dio proizvodnje.[1]

4.2. Ispitivanje u praznom hodu

Jedan od uvjeta provođenja pokusa je ostvariti pogon praznog hoda. To je stanje kada je motor spojen na napajanje, na njega je narinut nazivni napon, a na osovinu rotora nije priključen nikakav teret. Cilj ispitivanja u praznom hodu je vršiti mjerenje struje praznog hoda. Preko struje praznog hoda i narinutog napona možemo formirati izračune kojima određujemo gubitke u željezu, tj. određujemo snagu koja je potrebna da bi se pokrili gubitci magnetiziranja željezne jezgre te gubitci nastali zagrijavanjem zbog vrtložih struja. Također u izračune gubitaka u statoru uključeni su i gubitci u statorskom namotu koji nastaju zagrijavanjem namota zbog otpornosti bakra dok njim protječe struja kratkog spoja. Ako je prilikom provođenja pokusa u obzir uzeta i mehanička snaga, tada možemo izračunati i gubitke koji nastaju zbog trenja i ventilacije te dodatne gubitke praznog hoda.[4]

4.2.1. Mjerenje otpora namota

Prije nego su provedeni pokusi u praznom hodu i kratkom spoju bilo je važno utvrditi otpor namota statora. Namoti korištenog motora prilikom ovoga, a i svih ostalih pokusa bili su povezani u spoju u trokut kao na slici (Sl. 4.1.). Utvrđivanje otpora vršili smo U I metodom. Postupak se provodi tako da smo izvode namota povezali na kontrolirani istosmjerni izvor napajanja. Nakon što je na izvod namota narinut napon poznatog iznosa kroz namot je protekla istosmjerna struja koju smo mjerili pomoću ampermetra.

Rezultati mjerenja zabilježeni su u tablici kao R (Tablica 4.1.), a iznos otpora namota izračunat je pomoću sljedeće relacije:

$$R' = \frac{U}{I} \quad (4-1)$$

Gdje je:

- R' - iznos otpora namota utvrđen pomoću istosmjernih napona i struje
- U - istosmjerni napon narinut na stezaljke namota
- I – istosmjerna struja koja teče namotom

Zbog toga što su namoti bili spojeni u trokut potrebno je bilo preračunati iznos otpora namota prema relaciji [1]:

$$R = \frac{3}{2}R' \quad (4-2)$$

Gdje je:

- R – iznos otpora namota jedne faze
- R' - iznos otpora namota utvrđen pomoću istosmjernih napona i struje

Rezultati izračuna zabilježeni su u tablici (Tablica 4.1.) pod oznakom R'

Nakon što su provedena mjerenja i izračun za iznos otpora u hladnom stanju, također je bilo važno utvrditi tj. preračunati iznos otpora u stanju zagrijavanja na 75°C. Rezultati su upisani u tablicu (Tablica 4.1.) pod oznakom R''.

Iznos zagrijanog namota utvrđen je prema sljedećoj relaciji [2]:

$$R'' = R(1 + \alpha\Delta\vartheta) \quad (4-3)$$

Gdje je:

$$\Delta\vartheta = \vartheta - \vartheta_0 \quad (4-4)$$

Gdje je:

- R'' – iznos otpora preračunat na 75°C
- R – iznos otpora namota jedne faze na 25°C
- α – konstanta koja ovisi o vrsti materijala

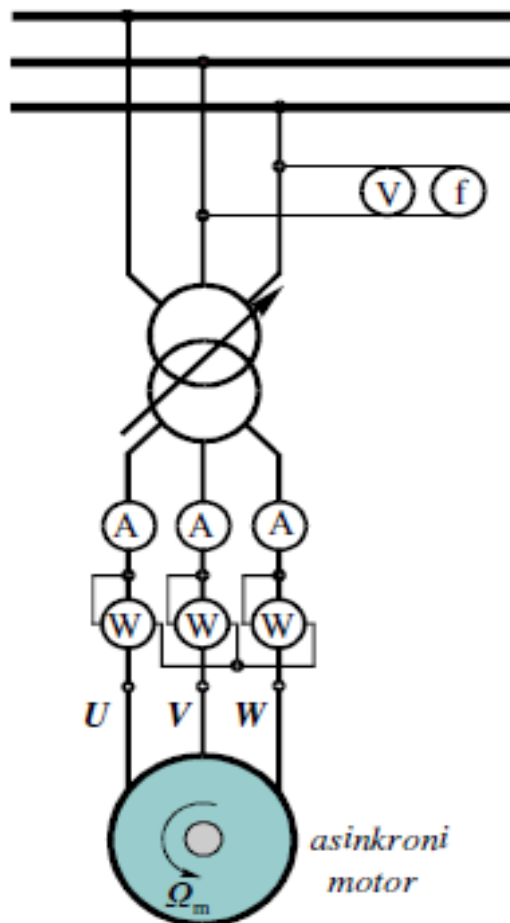
- $\Delta\theta$ – razlika temperatura
- ϑ, ϑ_0 – temperature namota

Tablica 4.1. Iznos otpora namota statora

	U [V]	I [A]	R' [Ω]	R [Ω]	R'' [Ω]
U1 - V1	3,08	0,1657	18,5878	27,8817	33,2436
U1 - W1	3,07	0,1660	18,4940	27,7410	33,0758
V1 - W1	3,08	0,1663	18,5207	27,7811	33,1236

4.2.2. Postupak provođenja testiranja u praznom hodu

Prvi korak pri izvođenju pokusa jest pripremiti potrebne instrumente za mjerenje, spojne vodiče te motor i izvor napajanja za taj motor. Nakon što su nam dostupni svi potrebni elementi, spajanje postava ćemo provesti prema shemi (Sl. 4.2.). Postupak provodimo tako što narinemo



Sl. 4.1. Shema spoja za pokus praznog hoda [1]

napon iznosa koji je 20 % veći od nazivnog te zabilježimo rezultate, tj. ispis korištenih instrumenata. Postupak se nastavlja postepenim snižavanjem napona do 20 % nazivne vrijednosti ili do onoga napona kada je primjetan značajniji rast struje.[4]

Prilikom provođenja pokusa bilježeni su rezultati mjerenja, nakon sistematizacije prikazani su u tablici (Tablica 4.2.). Važno je napomenuti da je prilikom provođenja pokusa umjesto ampermetara u svakoj fazi i pojedinačnih wattmetara korištena mjerna norma (Sl. 4.3.) radi pojednostavljenja tj. ubrzavanja procesa mjerenja, sistematizacije rezultata te jednostavnosti spajanja.

Tablica 4.2. Rezultati mjerenja za pokus praznog hoda

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
U [V]	30,99	59,92	93,79	120,34	145,00	178,91	190,77	198,91	209,90	219,88	230,80	240,20
I [A]	0,165	0,288	0,456	0,595	0,754	0,911	1,101	1,188	1,321	1,480	1,688	1,920
P [W]	3,97	6,75	12,35	18,41	26,37	42,50	50,92	57,65	70,70	86,24	110,39	141,50
$\cos\varphi$	0,450	0,228	0,167	0,148	0,141	0,138	0,139	0,141	0,146	0,153	0,164	0,176
n [o/min]	1470	1492	1497	1499	1498	1499	1500	1500	1500	1500	1500	1500



Sl. 4.2. Trofazni analizator snage NORMA

4.3. Ispitivanje u kratkom spoju

Jedan od uvjeta provođenja pokusa je ostvariti pogonsko stanje kratkog spoja. To je stanje kada je motor spojen na napajanje, na njega je narinut napon, a osovina rotora je zakočena. Cilj ispitivanja u kratkom spoju je vršiti mjerenje prema kojim bi rezultatima formirali ovisnosti struje kratkog spoja o narinutom naponu, ovisnost kosinusa kuta o narinutom naponu te ovisnost poteznog momenta o narinutom naponu. Iz dobivenih mjerenja možemo provesti proračune kako bi došli do iznosa gubitaka primarno u statorskom i rotorskom namotu, tj. do iznosa gubitaka u bakru koji nastaju zbog zagrijavanja namota.[4]

4.3.1. Postupak provedena testiranja u kratkom spoju

Prvi korak pri izvođenju pokusa jest pripremiti potrebne instrumente za mjerenje, spojne vodiče te motor i izvor napajanja za taj motor. Nakon što su nam dostupni svi potrebni elementi, spajanje postava ćemo provesti prema shemi (Sl. 4.1.) uz dodatak mehaničke kočnice na osovini rotora asinkronog motora. Osovina je polugom zakočena, a pomoću vage i poluge koja koči motor realizirano je mjerenje momenta motora u kratkom spoju (Sl. 4.4.). Mjerenja započinjemo na najvišem iznosu napona koji je odabran tako da iznos struje ne prelazi tri puta veću vrijednost od nazivne. Mjerenje je potrebno provesti što je brže moguće kako ne bi došlo do prekomjernog zagrijavanja namota uslijed protjecanja struje velikog iznosa. Nakon što su provedena mjerenja rezultati su upisani u tablicu (Tablica 4.3.), a rezultat mjerenja vage preračunat je u moment pomoću relacije:

$$T = l \cdot m \cdot g \quad (4-5)$$

Gdje je:

- T – moment
- l – duljina korištene poluge
- g – ubrzanje sile teže

Tablica 4.3. Rezultati mjerenja za pokus kratkog spoja

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
U [V]	72,70	68,41	58,50	51,19	40,77	31,13	24,90	18,04	15,00	10,60	4,28
I [A]	2,05	1,90	1,60	1,39	1,10	0,84	0,67	0,49	0,41	0,292	0,119
P [W]	190,18	167,20	120,80	92,00	57,72	33,84	21,67	11,30	7,90	3,96	0,66
cosφ	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
m [kg]	0,218	0,191	0,136	0,102	0,063	0,035	0,021	0,011	0,008	0	0
T [Nm]	0,428	0,375	0,267	0,200	0,124	0,069	0,041	0,022	0,016	0	0

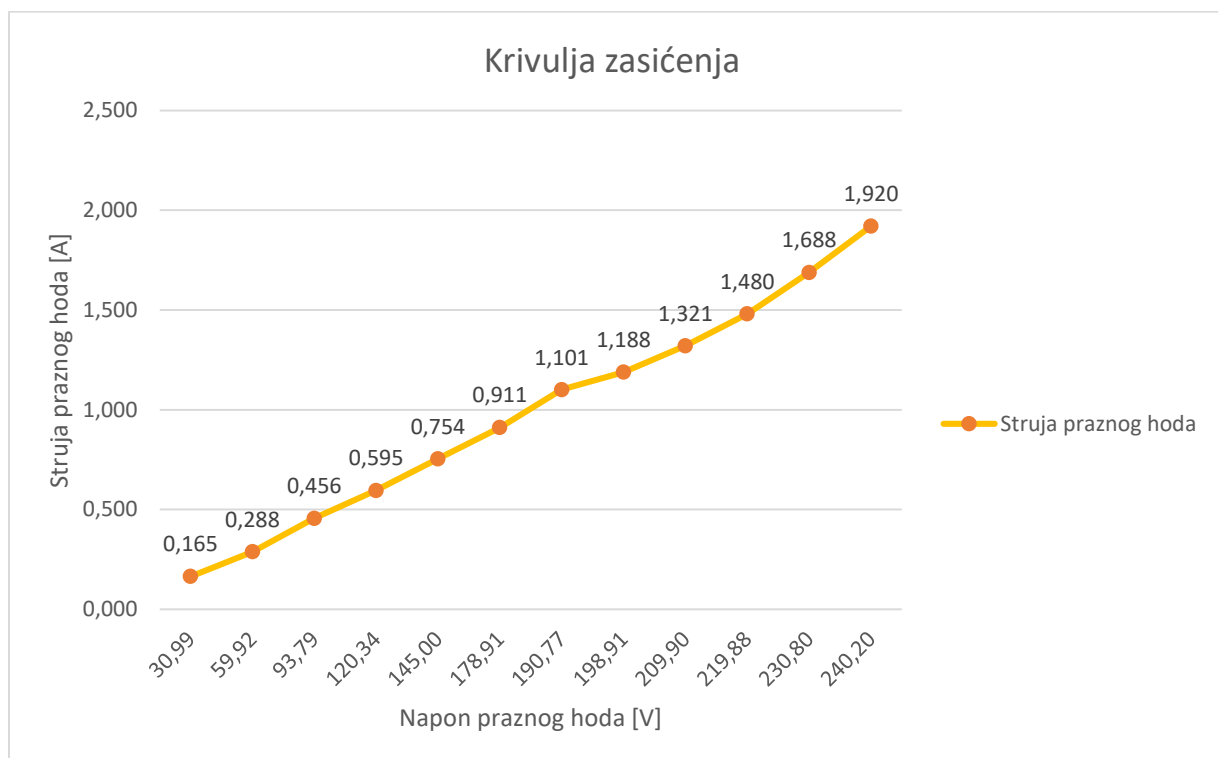
5. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTA MJERENJA

5.1. Grafički prikaz ovisnosti za pokus praznog hoda

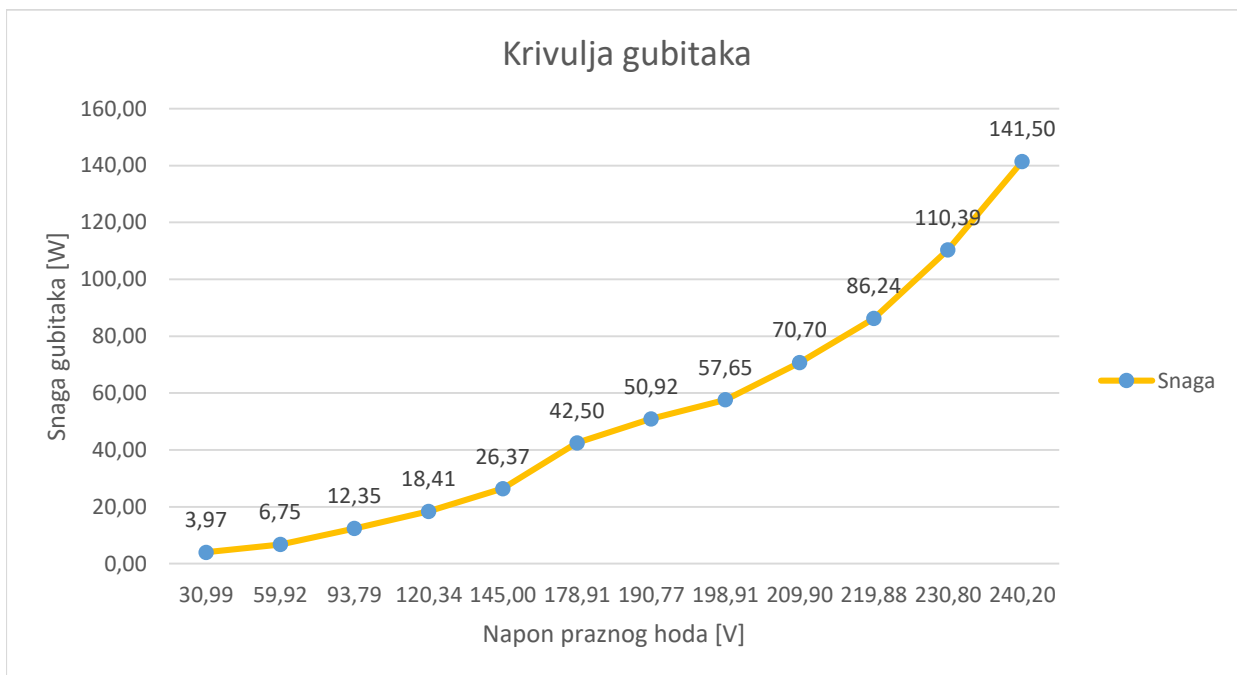
Grafički prikaz određenih ovisnosti unaprijed je poznat za vrstu motora. Stoga se rezultati mjerenja prikazuju grafički kako bi se mogla procijeniti ispravnost korištenog motora. U slučaju da konstruirane karakteristike motora ozbiljno odstupaju od teorijskih unaprijed poznatih, tada treba utvrditi razlog zbog kojeg je došlo do pogreške što mogu biti neispravan motor, gruba pogreška prilikom mjerenja ili obrade podataka.

Iz pokusa kratkog spoja očitani su podatci u nazivnoj radnoj točki koji će biti korišteni u izračunima, a to su:

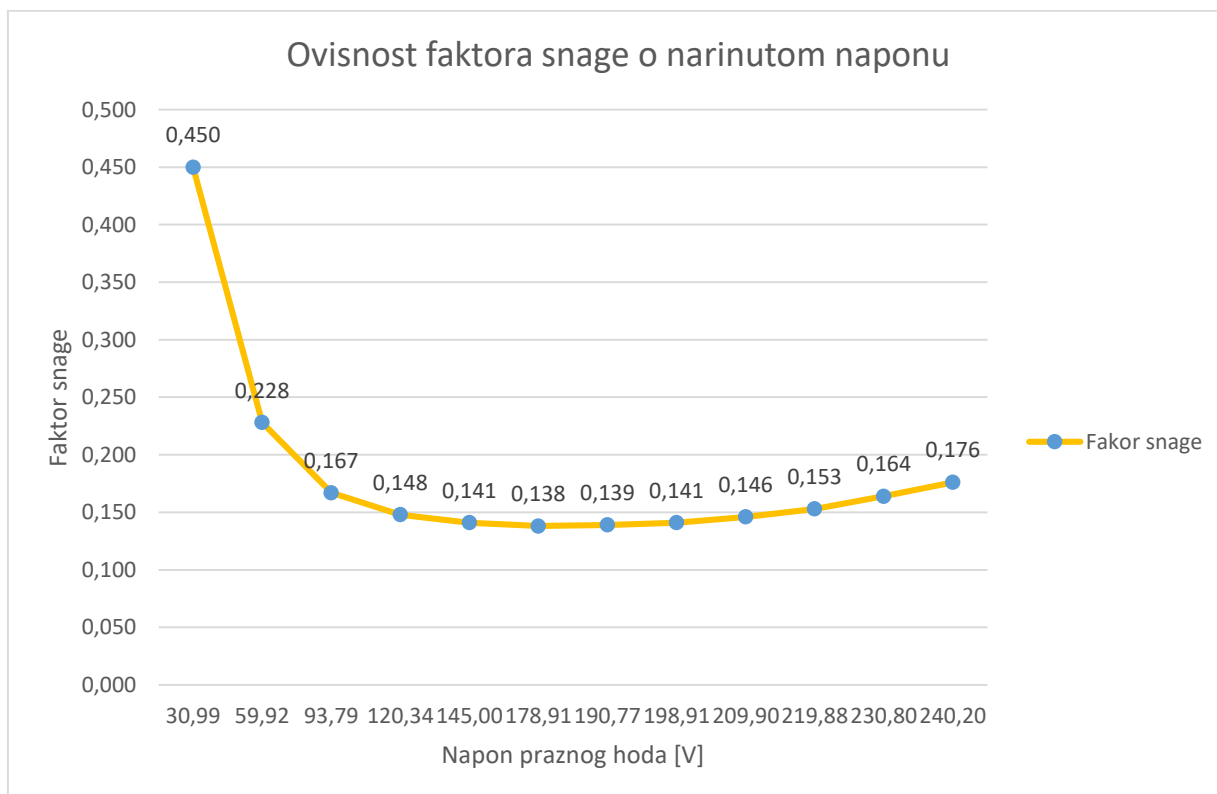
- struja praznog hoda iznosi približno 1,688 A
- gubitci snage iznose približno 110,39 W
- faktor snage iznosi 0,164



Sl. 5.1. Graf ovisnosti struje praznog hoda o narinutom naponu



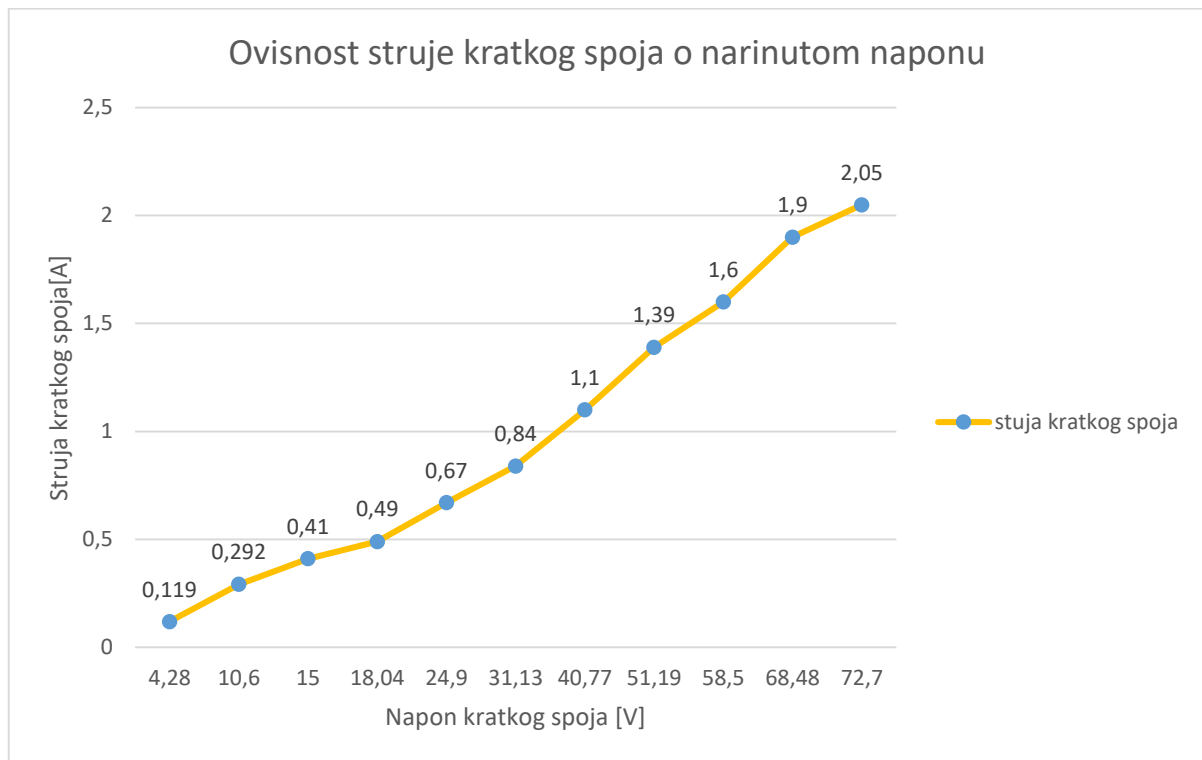
Sl. 5.2. Graf krivulje gubitaka



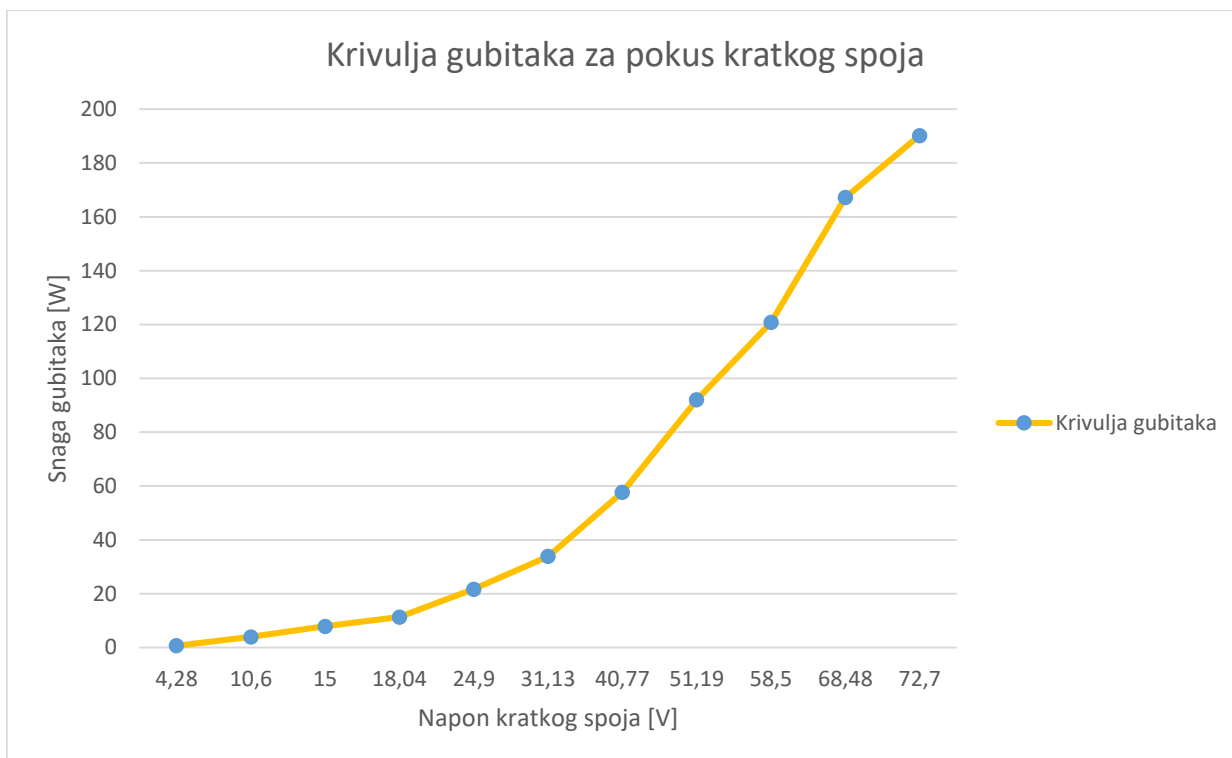
Sl. 5.3. Graf ovisnosti faktora snage o narinutom naponu

5.2. Grafički prikaz ovisnosti za pokus kratkog spoja

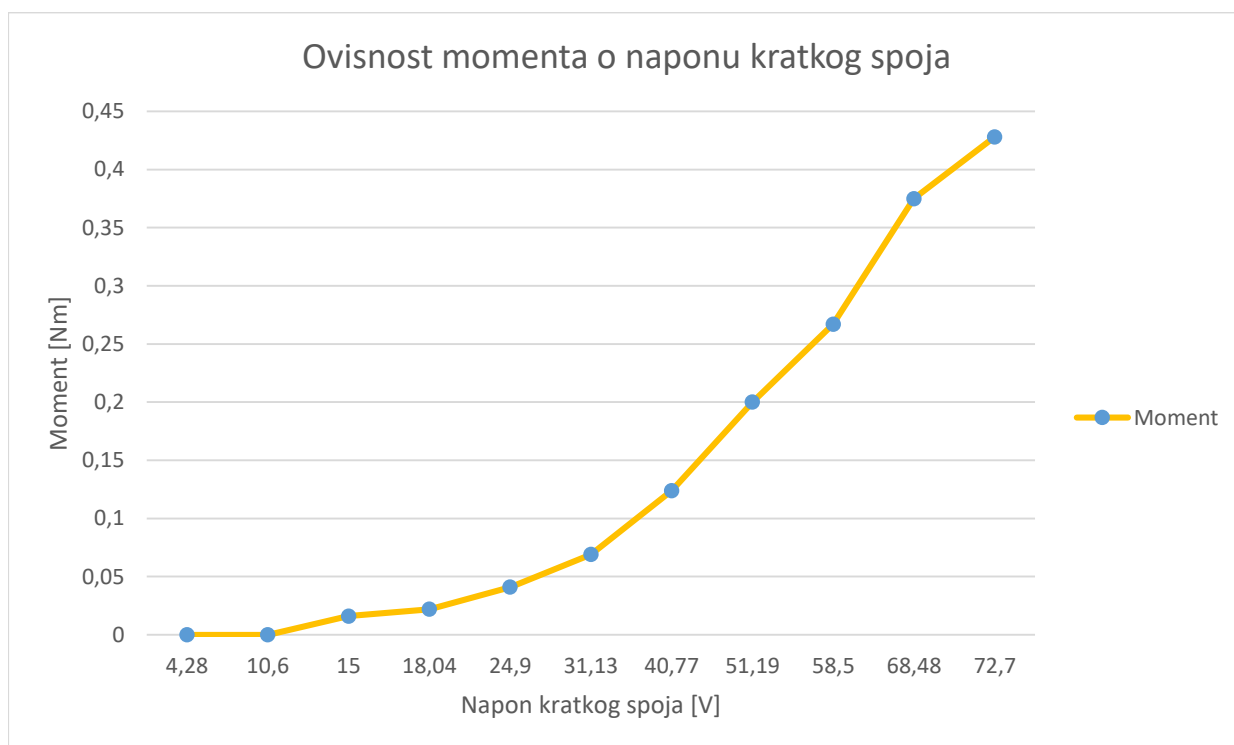
Kao i u pokusu praznog hoda iz rezultata mjerenja za pokus kratkog spoja možemo konstruirati grafove ovisnosti koje možemo usporediti s unaprijed poznatim grafičkim prikazima koji su nam poznati s obzirom na korišteni motor. Grafički su prikazane ovisnosti struje kratkog spoja (Sl. 5.4.), krivulja gubitaka u kratkom spoju (Sl. 5.5.), moment koji motor razvija u kratkom spoju (Sl. 5.6.) te faktor snage kratkog spoja (Sl. 5.7.) u ovisnosti o narinutom naponu kratkog spoja.



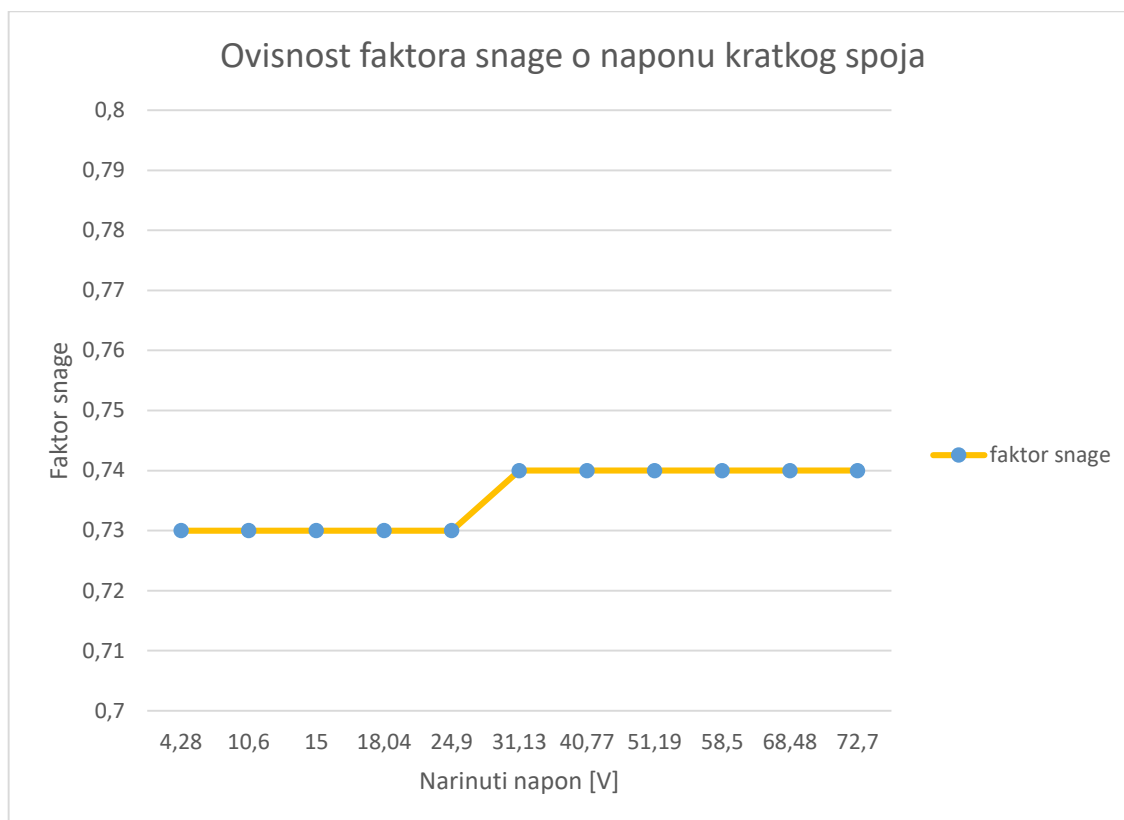
Sl. 5.4. Graf ovisnosti struje kratkog spoja o narnutom naponu



Sl. 5.5. Krivulja gubitaka u kratkom spoju



Sl. 5.6. Graf ovisnosti momenta o naponu kratkog spoja



Sl. 5.7. Graf ovisnosti faktora snage o narutom naponu

Nakon provedenih pokusa izmjerena potezna struja (struja kratkog spoja) i izmjereni moment preračunati su na nazivne vrijednosti. Potezni moment preračunat je pomoću relacije[4]:

$$T_{kn} = T_{kmj} \cdot \left(\frac{U_n}{U_{mj}}\right)^2 \quad (5-1)$$

Gdje je :

- T_{kn} – nazivni potezni moment
- T_{kmj} – mjereni potezni moment
- U_n – nazivni napon motora
- U_{mj} – mjereni napon u krtkom spoju

Upotrebom prethodno spomenute relacije preračunati potezni moment na nazivnu vrijednost iznosi 4,284 Nm.

Kao i potezni moment tako je i potezna struja preračunata na vrijednost za nazivni napon pomoću relacije[4]:

$$I_{kn} = I_{kmj} \cdot \frac{U_n}{U_{mj}} \quad (5-2)$$

Gdje je :

- I_{kn} – nazivna vrijednost potezne struje
- I_{kmj} – mjerena vrijednost potezne struje
- U_n – nazivni napon motora
- U_{mj} – mjereni napon u krtkom spoju

Upotrebom prethodno spomenute relacije preračunata vrijednost potezne struje.na nazivnu vrijednost iznosi 6,486 A

Za oba izračuna korištene vrijednosti i rezultati prikazani su u tablici:

Tablica 5.1. Tablica preračunatih vrijednosti

U_n [V]	I_{kn} [A]	U_{mj} [V]	T_{kmj} [Nm]	T_{kn} [Nm]
230	6,486	72,70	0,428	4,284

6. PRORAČUN GUBITAKA ASINKRONOG MOTORA

6.1. Gubitci iz pokusa praznog hoda

Jedan dio gubitaka koje možemo izračunati iz mjerenih podataka u pokusu praznog hoda predstavljaju gubitci u statorskom namotu koje možemo izračunati prema relaciji [4]:

$$P_{ws0} = 1,5 \cdot I_{ph}^2 \cdot R_s \quad (6-1)$$

Gdje je:

- P_{ws0} – gubitci u statorskom namotu
- R_s – izmjereni otpor statora između stezaljki namota
- I_{ph} - izmjerena struja praznog hoda

$$P_{ws0} = 1,5 \cdot 1,688^2 \cdot 18,578 = 79,40 \text{ W} \quad (6-2)$$

Obično se kod motora gubitci u statorskom namotu iz pokusa praznog hoda zanemaruju zbog toga što motor vuče malu struju, međutim kod motora manjih snaga kao što je ovaj korišten u pokusu struja praznog hoda pri nazivnom naponu nije zanemariva s obzirom na vrijednost jer je blizu iznosa nazivne struje. Stoga se u ovakvim slučajevima gubitci u statorskom namotu ne zanemaruju s obzirom da čine veliki udio snage praznog hoda.

Oduzmemo li od snage izmjerene u praznom hodu gubitke statorskog namota dobivamo “uže gubitke praznog hoda”[4].

$$P'_0 = P_0 - P_{ws0} = 110,39 - 79,40 = 39,99 \text{ W} \quad (6-3)$$

Gdje je:

- P'_0 - uži gubitci praznog hoda
- P_0 – snaga koju motor vuče pri nazivnom naponu u praznom hodu
- P_{ws0} – gubitci u statorskom namotu

Prilikom vrtnje u praznom hodu motor također mora zadovoljiti gubitke zbog trenja i ventilacije koje možemo dobiti ekstrapolacijom krivulje koja predstavlja ovisnost struje praznog hoda o narinutom naponu. Iz dobivenih rezultata mjerenja ekstrapolacijom je dobiven iznos gubitaka zbog trenja i ventilacije i on iznosi $P_{dmech} = 0,16 W$. Gubici zbog trenja i ventilacije su konstantni kroz cijelo područje rada motora

Iz pokusa praznog hoda još možemo odrediti gubitke u željezu tako da od užih gubitka praznog hoda oduzmemo gubitke trenja i ventilacije[1]:

$$P_{Fe} = P'_0 - P_{dmech} = 39,99 - 8,83 = 31,16 W \quad (6-4)$$

Gdje je

- P_{Fe} – gubici u željezu
- P'_0 - uži gubici praznog hoda
- P_{dmech} – gubici zbog trenja i ventilacije

Kod motora većih snaga zbog veće količine materijala upotrebljenog za izradu jezgre gubici u željezu su mnogo izraženiji nego kod motora manjih snaga.

Promjena gubitaka u pokusu praznog hoda prikazana je u tablici

Tablica 6.1. Gubici u pokusu praznog hoda

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
U [V]	30,99	59,92	93,79	120,34	145,00	178,91	190,77	198,91	209,90	219,88	230,80	240,20
I [A]	0,165	0,288	0,456	0,595	0,754	0,911	1,101	1,188	1,321	1,480	1,688	1,920
P [W]	3,97	6,75	12,35	18,41	26,37	42,50	50,92	57,65	70,70	86,24	110,39	141,50
P _{wso} [W]	0,7541	2,3082	5,7895	9,8756	15,843	23,127	33,78	39,33	48,629	61,0399	79,4027	102,729
P'o [W]	3,22	4,44	6,56	8,53	10,53	19,37	17,14	18,32	22,07	25,20	30,99	38,77
P _{fe} [W]	3,06	4,28	6,40	8,37	10,37	19,21	16,98	18,16	21,91	25,04	30,83	38,61

6.2. Gubitci iz pokusa kratkog spoja

Prilikom rada u kratkom spoju gotovo sva snaga koju motor uzme iz mreže zbog zagrijavanja namota predstavlja gubitke u namotima. Gubitke koji se stvaraju u statorskom namotu možemo odrediti prema relaciji[1]:

$$P_{wsk} = 1,5 \cdot I_k^2 \cdot R_s \quad (6-5)$$

Gdje je:

- P_{wsk} – gubitci u statorskom namotu
- R_s – izmjereni otpor statora između stezaljki namota
- I_k - izmjerena struja kratkog spoja

$$P_{wsk} = 1,5 \cdot 1,90^2 \cdot 18,578 = 100,58 \text{ W} \quad (6-6)$$

Oduzimanjem gubitaka u statorskom namotu od snage koju motor vuče iz mreže u kratkom spoju dobivamo snagu koja sa statora prelazi na rotor[1]:

$$P_{\delta k} = P_k - P_{wsk} = 167,2 - 100,58 = 66,62 \text{ W} \quad (6-7)$$

Gdje je:

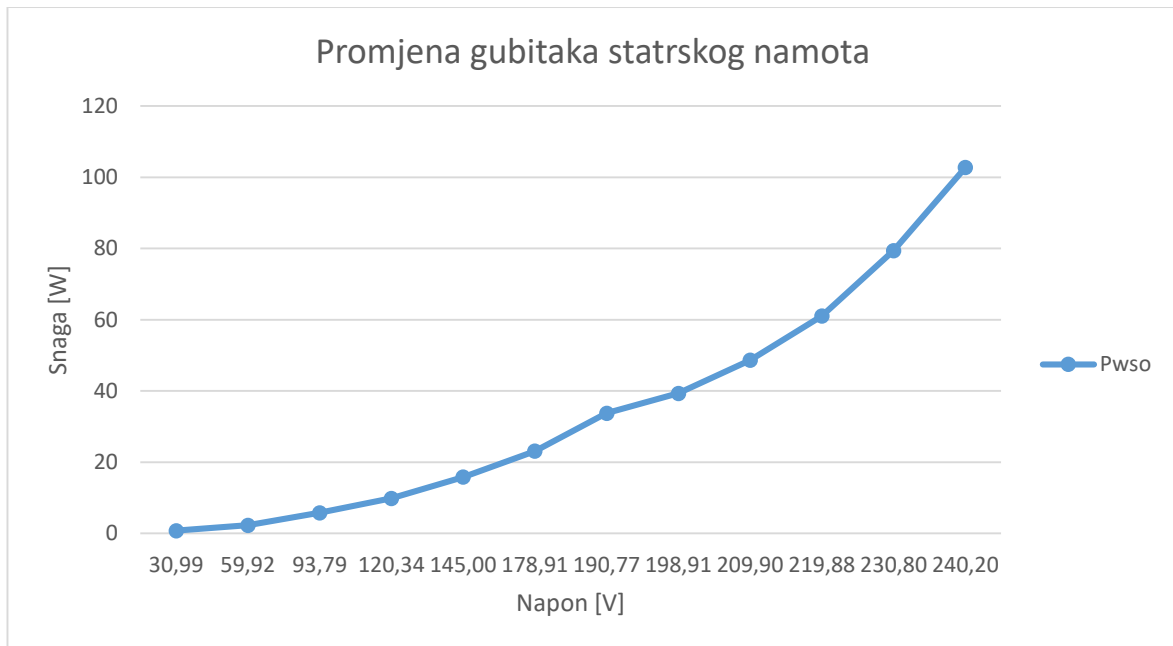
- $P_{\delta k}$ – gubitci u statorskom namotu
- P_k - užii gubitci praznog hoda
- P_{wsk} – gubitci zbog trenja i ventilacije

Snaga koja je prešla na stator troši predstavlja gubitke u rotorskom namotu. Promjena gubitaka u kratkome spoju prikazana je u tablici:

Tablica 6.2. Gubitci u pokusu kratkog spoja

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
U [V]	72,70	68,41	58,50	51,19	40,77	31,13	24,90	18,04	15,00	10,60	4,28
I [A]	2,05	1,90	1,60	1,39	1,10	0,84	0,67	0,49	0,41	0,292	0,119
P [W]	190,18	167,20	120,80	92,00	57,72	33,84	21,67	11,30	7,90	3,96	0,66
P _{wsk} [W]	117,09	100,58	71,33	53,833	33,714	19,66	12,507	6,69	4,6837	2,3757	0,3946
P'k [W]	73,066	66,616	49,47	38,167	24,006	14,18	9,1625	4,61	3,2163	1,5843	0,2654

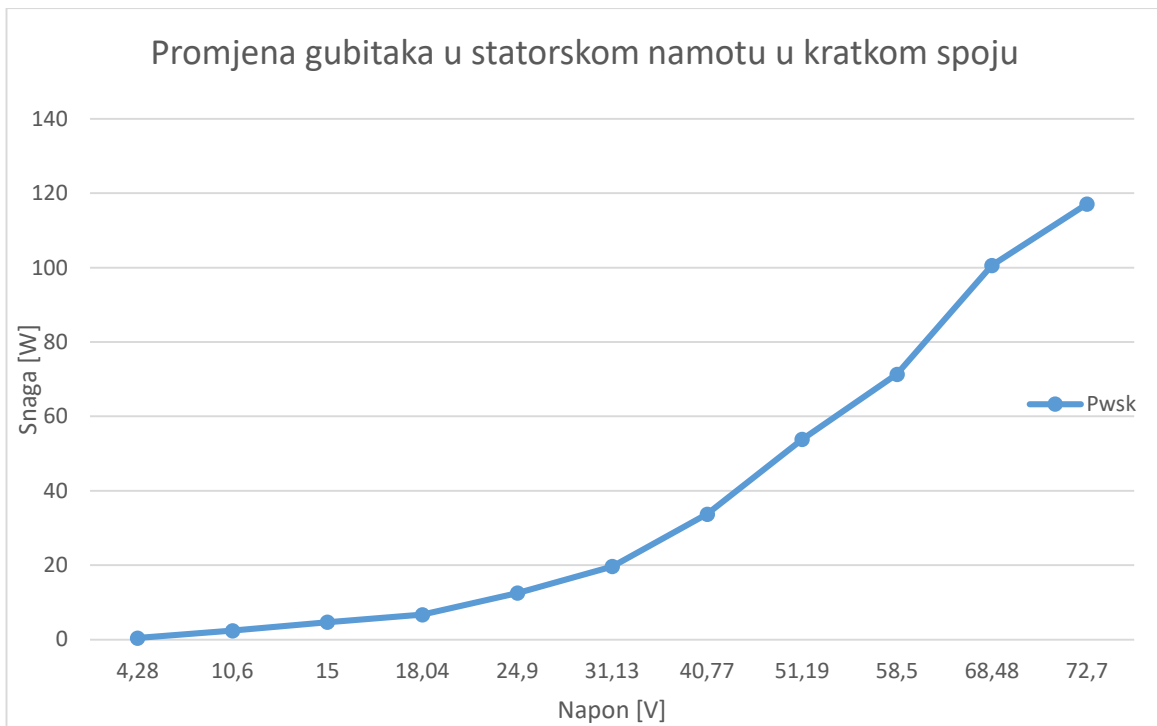
6.3. Grafički prikaz promjene gubitaka



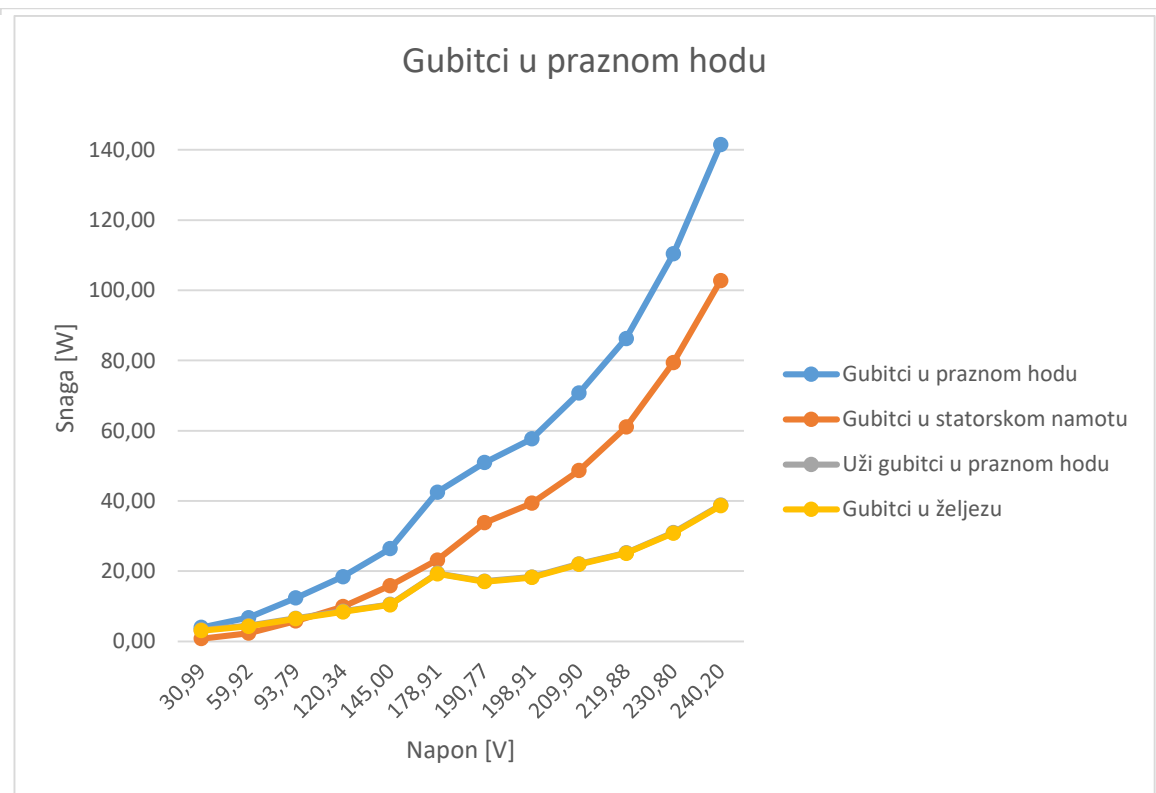
Sl. 6.1. Graf promjene gubitka u statrskom namotu



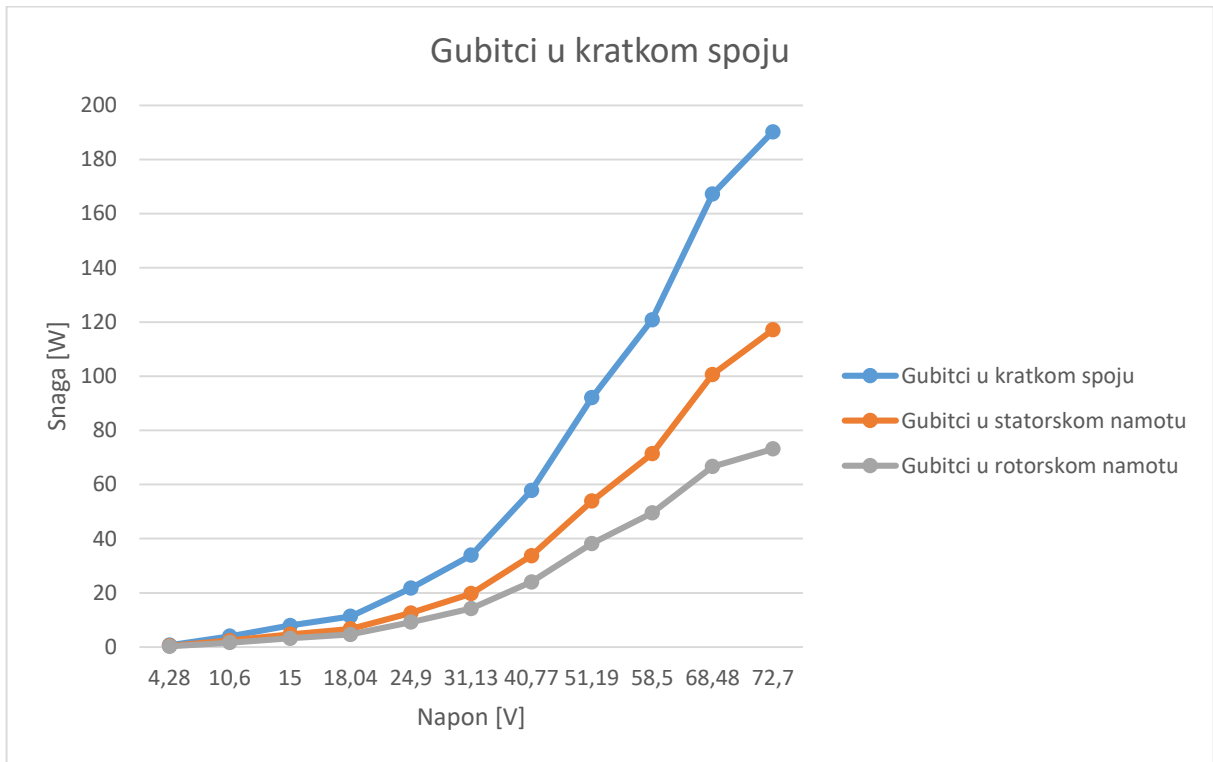
Sl. 6.2. Graf promjene užih gubitaka gubitaka praznog hoda



Sl. 6.5. Graf promjene gubitaka u statorskom namotu



Sl. 6.3. Graf gubitaka u praznom hodu



Sl. 6.7. Graf promjene gubitka u rotorskom namotu

7. GUBITCI ASINKRONOG MOTORA KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0,37 kW)

Gubitci u asinkronom motoru nastaju zbog magnetiziranja željezne jezgre ili zbog zagrijavanja namota kojima protječe struja. Provedenim pokusom praznog hoda došli smo do podataka pomoću kojih su određeni gubitci praznog hoda. Zbog toga što je korišten motor manje snage, struju magnetiziranja nije moguće zanemariti zbog njezinog utjecaja. Iz rezultat je vidljivo kako u gubitcima najveći udio imaju gubitci nastali zagrijavanjem statorskog namota dok je ostatak podijeljen između užih gubitaka praznog hoda i gubitaka nastalim magnetiziranjem željezne jezgre.

Provedenim pokusom kratkog spoja formirani su rezultati iz kojih možemo vidjeti koliko se energije troši na zagrijavanje namota. Povećanjem narinutog napona rastu i gubici u namotu no pri tome dolazi do promjene udjela u gubitcima. Povećanjem napona veći udio u gubitcima kratkog spoja imaju gubitci u statorskom namotu.

Tablica 7.1. Gubitci asinkronog motora

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
P _{wsk}	0,39456	2,37567	4,68369	6,68979	12,5075	19,6598	33,7136	53,8331	71,328	100,584	117,092
P'	0,26544	1,58433	3,21631	4,61021	9,16252	14,1802	24,0064	38,1669	49,472	66,6164	73,0878
P _{wso} [W]	0,7541	2,3082	5,7895	9,8756	15,843	23,127	33,78	39,33	48,629	61,0399	79,4027
P' _o [W]	3,22	4,44	6,56	8,53	10,53	19,37	17,14	18,32	22,07	25,20	30,99
P _{fe} [W]	3,06	4,28	6,40	8,37	10,37	19,21	16,98	18,16	21,91	25,04	30,83

Jedan od pristupa smanjenja gubitaka jest zamjena materijala za izradu namota te odabir materijala manje otpornosti kao npr. odabir bakra umjesto aluminija. Željezna se jezgra u svrhu smanjenja gubitaka umjesto iz komada izvodi od međusobno izoliranih limova. U svrhu poboljšanja efikasnosti motora jezgra bi se mogla izvesti od feromagnetskih materijala dok bi se namoti mogli izvesti vodičima povećanog presjeka.

8. ZAKLJUČAK

Asinkroni motor zbog svoje konstrukcije prilikom upotrebe generira gubitke. U radu su prevedena mjerenja za pogonsko stanje praznog hoda i kratkog spoja te izračuni pomoću koji su prikazani gubitci koje stvara asinkroni motor.

Pomoću U-I metode izmjereni su otpri namota statora u sve tri faze.

Proveden je pokus praznog hoda i iz rezultata mjerenja određeni su gubitci praznog hoda. Gubitci praznog hoda pokrivaju gubitke radi magnetiziranja jezgre statora te gubitke nastale zagrijavanjem statorskog namota. Gubitci koji su još izračunati su uži gubitci u praznom hodu te gubitci zbog trenja i ventilacije.

Proveden je pokus kratkog spoja i iz rezultata mjerenja određeni su gubitci kratkog spoja. Gubitci kratkog spoja primarno predstavljaju gubitke nastale u namotima zbog zagrijavanja. Također iz rezultata mjerenja u pokusu kratkog spoja izračunati su potezni moment, potezna struja i energija koja se sa statora prenosi na rotor.

LITERATURA

- [1] I. Mandić, V. Tomljenović i M. Pužar, „Sinkroni i asinkroni električni strojevi“, *Udžbenici tehničkog veleučilišta u Zagrebu*, str. 85 - 154, Zagreb, 2012.
- [2] M. Pužar, I. Mandić, „Transformatori i električni rotacijski strojevi“, *Materijali za predavanja*, Osijek, 2007.
- [3] R. Wolf, „Osnove električnih strojeva - drugo izdanje“, *Udžbenici sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb, 1989.
- [4] Ž. Špoljarić, „Asinkroni motor: prazani hod i kratki spoj“, *Prilog uz laboratorijsku vježbu 4*, FERIT, Osijek, 2020/2021.
- [5] Z. Valter, „Električni strojevi“, ETF Osijek, 2008.
- [6] Končar 5AZ-7AZ-5AZC v1 2019 HR EN DE priručnik tehničkih podataka
- [7] L.M. Piotrovskij, „Električni strojevi“, *Tehnička knjiga*, Zagreb, 1970.

SAŽETAK

Ispitivanje i proračun gubitaka trofaznog asinkronog motora KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0,37 kw)

Razvojem tehnologije nastoje se poboljšati rezultati u različitim granama među kojima je i efikasnost. S obzirom na nesavršenost materijala i alata gotovo svi proizvodi svojom upotrebom stvaraju gubitke u nekome obliku. Asinkroni motori su zbog svoje jednostavnosti i pouzdanosti čest odabir za pogone sustava. Zbog svoje konstrukcije prilikom upotrebe stvaraju gubitke. U ovome radu predstavljeni su procesi određivanja gubitaka asinkronog motora.

Mjerenja su provedena dok se rotor vrtio u praznom hodu i dok je vrtnja bila onemogućena što predstavlja kratak spoj. Iz rezultata mjerenja formirani su grafovi i provedeni izračuni kojima su određeni gubici u statorskom namotu, rotoru i željeznoj jezgri, uz dodatak mehaničkih gubitaka i gubitaka zbog trenja i ventilacije.

Ključne riječi: asinkroni motor, mjerenje, gubici

ABSTRACT

Testing and calculation of losses of the three phase asynchronous motor KONČAR 5.4AZ 71B-4 (0,37 kw)

The development of technology aims to improve results in various branches, among which is efficiency. Considering the imperfection of materials and tools, almost all products generate losses in some form through their use. Asynchronous motors are a common choice for system drives due to their simplicity and reliability. Due to their construction, they create losses during use. This paper presents the processes of determining the losses of an asynchronous motor.

The measurements were taken while the rotor was spinning freely and while the rotation was disabled, which represents a short circuit. From the measurement results, graphs were formed and calculations were carried out, which determined the losses in the stator winding, rotor and iron core, with the addition of mechanical losses and losses due to friction and ventilation.

Key words: asynchronous motor, measurement, losses

ŽIVOTOPIS

Mato Lauš rođen je u Osijeku 29.04.2000. Živi u Višnjevcu pokraj Osijeka. Osnovnu školu „Višnjevac“ pohađao je u Višnjevcu. Po završetku osnovne škole 2015. godine upisuje srednju strukovnu „Elektrotehničku i prometnu“ školu u Osijeku, smjer elektrotehničar. Nakon završene srednje škole 2019. godine upisuje preddiplomski stručni studij elektroenergetike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Informatički je pismen i govori dva strana jezika: engleski i njemački. Poznaje sintaksu tri programska jezika i služi se programima MS Office-a i AutoCAD. Stručnu praksu obavio je u HOPS d.d. Prijenosno područje Osijek u trajanju od 200 sati. Nakon završetka preddiplomskog studija nada se nastavku studiranja ili pronalasku posla u struci.

Potpis autora