

# Analiza gubitaka malog industrijskog postrojenja

---

Iljkić, Anton

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*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:200:372938>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-08**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA GUBITAKA MALOG INDUSTRIJSKOG  
POSTROJENJA**

**Završni rad**

**Anton Ilkić**

**Osijek, 2020**

## SADRŽAJ

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.UVOD .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Zadatak završnog rada .....</b>                             | <b>1</b>  |
| <b>2. VRSTE GUBITAKA U ELEKTRIČNIM MREŽAMA .....</b>               | <b>2</b>  |
| <b>2.1 Općenito o električnim vodovima .....</b>                   | <b>2</b>  |
| <b>2.2 Gubici zbog korone .....</b>                                | <b>3</b>  |
| <b>2.3 Gubici jalove i djelatne snage .....</b>                    | <b>3</b>  |
| <b>2.4 Skin efekt .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>3. GUBICI NA TRANSFORMATORU .....</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>3.1 Gubici u željezu .....</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>3.2 Rasipni magnetski tok .....</b>                             | <b>8</b>  |
| <b>3.3 Gubici u namotima .....</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>4. GUBICI U ELEKTRIČNOM STROJU .....</b>                        | <b>11</b> |
| <b>4.1. Sinkroni strojevi .....</b>                                | <b>11</b> |
| <b>4.2. Asinkroni strojevi .....</b>                               | <b>11</b> |
| <b>5.SIMULACIJA I ANALIZA MALOG INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA.....</b> | <b>14</b> |
| <b>6. ZAKLJUČAK.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>SAŽETAK.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>LITERATURA .....</b>  | <b>45</b> |



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 30.09.2020.

Ime i prezime studenta:

Anton Ilijkić

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4209, 24.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

10

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza gubitaka malog industrijskog postrojenja**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 27.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

|   |   |
|---|---|
| <b>Ime i prezime studenta:</b>  | Anton Iljkić  |
| <b>Studij, smjer:</b>   | Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija  |
| <b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>   | 4209, 24.09.2019.   |
| <b>OIB studenta:</b>  | 85866736201   |
| <b>Mentor:</b>  | Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić  |
| <b>Sumentor:</b>  |   |
| <b>Sumentor iz tvrtke:</b>  |   |
| <b>Naslov završnog rada:</b>  | Analiza gubitaka malog industrijskog postrojenja  |
| <b>Znanstvena grana rada:</b>   | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>   |
| <b>Predložena ocjena završnog rada:</b>   | Vrlo dobar (4)  |
| <b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b> | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 2 razina |
| <b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>   | 27.09.2020.   |
| <b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>   | 30.09.2020.   |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:         | Potpis:   |
|   | Datum:  |

## 1.UVOD

---

Tema završnog rada je „Analiza gubitaka malom industrijskom postrojenju“. U radu je obrađena tematika gubitaka te metode za izračun gubitaka u postrojenju.

U drugom poglavlju nalazi se teorijski pregled vrsta gubitaka u električnim mrežama, te njihove osnovne podjele. Postaviti će se isto osnovni pojmovi o električnim vodovima te kako parametri voda utječu na gubitke. Opisati će se također najbitnije snage odnosno gubici u postrojenjima kao što su djelatna snaga i jalovi gubici, te pojmovi kao što su korona i skin efekt.

U trećem poglavlju će se objašnjavati gubicima u samom transformatoru, kao što su gubici u željezu i bakru, te specifično o gubicima u histerezi i vrtložnim strujama. Opisuju se dodatni gubici u rasipnom magnetskom toku, te posljedice tih zbivanja u transformatoru.

U četvrtom poglavlju će se objašnjavati kakvi su gubici u električnom stroju, odnosno u sinkronom i asinkronom stroju te kako određeni parametri utječu na strojeve.

U simulaciji je odabran program DIGSILENT te će se uvidjeti na praktičnom primjeru utjecaj gubitaka na malo industrijsko postrojenje. Analiza će biti prikazana u raznim grafovima i tablicama koji će olakšati shvaćanje rezultata.

### 1.1 Zadatak završnog rada

---

U završnom radu je potrebno definirati gubitke malog industrijskog postrojenja kao i gubitke distribucijske mreže na koju je malo industrijsko postrojenje priključeno. Analizu gubitaka malog industrijskog postrojenja izvesti s pomoću simulacijskog softvera varijacijom opterećenja industrijskog postrojenja kao i promjenom topologije modela mreže uz adekvatan prikaz dijagrama i tablica proračuna

### 2. VRSTE GUBITAKA U ELEKTRIČNIM MREŽAMA

---

Razlika između izmjerene električne energije predane u mrežu i izmjerene električne energije preuzete iz mreže nije jednaka i takva razlika su gubici u električnoj mreži. Dije se na mnoge vrste ali glavne vrste su tehnički i netehnički gubici električne energije. Provedenom analize iz znanstvenog rada[1] tehnički gubici u ukupnom udjelu iznose 51% dok netehnički iznose 49%. Tehnički gubici ubrajaju gubitke u vodovima, njegovoj opterećenosti, te njegovoj duljini. Kako se u radu navodi njegovi gubici iz godine u godinu padaju zbog prelaska u srednjenaponske mreže koje su na naponskoj razini od 20 kV, dok se netehnički gubici mogu teže smanjiti zato što se odnose na krađu i na obradu podataka (pogreška u mjerenju, krivo očitavanje na mjerilu).

#### 2.1 Općenito o električnim vodovima

---

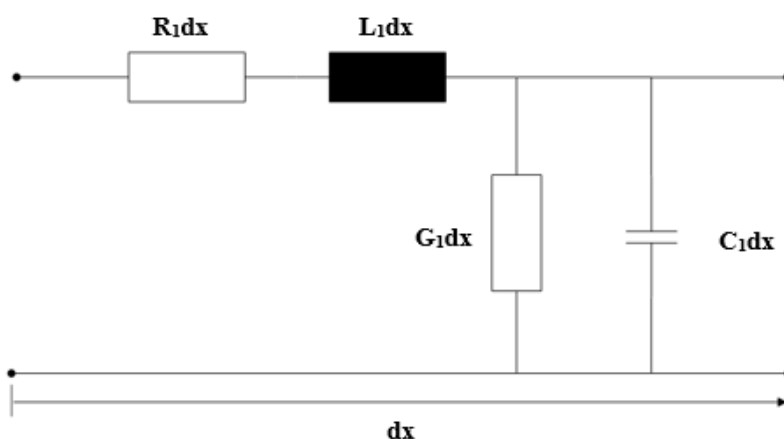
Električni vodovi su skupovi električnih vodiča koji su jedan od drugog, od zemlje i od drugih konstruktivnih dijelova izolirani, a služe za vođenje električne struje. Predstavljaju medij za prijenos električne energije[2]. S obzirom na napon mogu biti nisko naponski do 250 V i visokonaponski što predstavljaju dalekovode.

Električni vod se sastoji od 4 konstante :

- $R [\Omega]$  – djelatni otpor,
- $L [H]$  – induktivitet,
- $C [F]$  – kapacitet
- $G [S]$  – vodljivost

Vodovi su neke vrste kablova pa se razlikuju po duljini zbog toga se parametri voda označuju po jedinici duljine, pošto se najčešće koristi velika količina vodova uobičajeno je koristiti veličinu od kilometar po duljini voda[2]:

- $R_l [\Omega / km]$  – jedinični djelatni otpor,
- $L_l [H / km]$  – jedinični induktivitet,
- $C_l [F / km]$  – jedinični kapacitet
- $G_l [S / km]$  – jedinična vodljivost



**Slika 2.1.** Nadomjesna shema elemenata voda duljine  $dx$  [3]

Iz slike 2.1 se uočava da su otpor i induktivitet uzdužni parametri, dok su vodljivost i kapacitet poprečni parametri, te prema tome se shvaća da su otpor i vodljivost parametri na kojima nastaju gubici dok na induktivitetu i kapacitetu nema gubitaka.

## 2.2 Gubici zbog korone

---

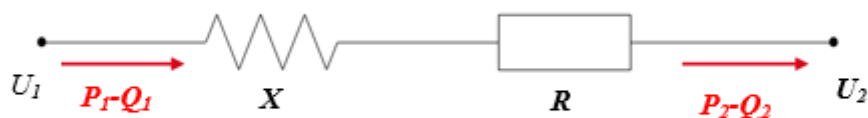
Zbog velikog razmaka između vodiča u nadzemnim vodovima ne dolazi do proboja između vodiča, te će se umjesto proboja javiti izbijanje oko vodiča, te se takva pojava naziva korona[4]. Na površini vodiča je najjače električno polje, pa je izbijanje najveće u zraku oko vodiča zbog kojeg prilikom pojave korone stvara ljubičasto svjetlo, pucketanje te se osjeća miris ozona. Zbog takvog ioniziranja zraka koje nastaje na temperaturi većoj od  $25^{\circ}C$  i pritisku od 760 mm Hg te jačine električnog od 30 kV/cm korona je popraćena gubicima snage i energije[4]. Stvoreni ozon prilikom pojave korone nagriza materijal vodiča te ga oštećuje te zbog takvog oštećenja nastaju gubici. Mjera kojom se smanjuje korona je takva da se povećava polumjer vodiča jer je ekonomičniji i efikasniji za razliku od povećanja razmaka koji je skuplji.

## 2.3 Gubici jalove i djelatne snage

---

Poznato je da kod prijenosa električne energije od izvora do potrošača mora u svakom trenutku postojati ravnoteža između snage potrošača i snage generatora[4]. Na strani potrošnje su uključeni tijekom prijenosa gubici snage. Gubici tijekom prijenosa odnosno ukupna djelatna i jalova snaga se sastoje od dijelova voda kroz koju protječe struja[4]. Opterećenje se izražava u snagama, te se na taj način izračun dalekovoda može nadomjestiti slikom 2.2. Uzet će se za primjer dio s konstantnom strujom  $I$  kod induktivnog opterećenja.





**Slika 2.2** Nadomjesna shema dalekovoda[4]

Iz slike 2.2 vrijedi [4]:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2-1)$$

Gubici djelatne i jalove snage biti će [4]:

$$\Delta P = 3 \cdot \left( \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2 \cdot R. \quad (2-2)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot \left( \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2 \cdot X. \quad (2-3)$$

Prividna snaga [4]:

$$S^2 = P^2 + Q^2. \quad (2-4)$$

Četiri vrste gubitaka djelatne snage su uzrokovane u električnom vodu[4]:

1. Gubici toplinske otpornosti  $\Delta P_1 (W)$

U proporciji je s kvadratom struje:

$$\Delta P_1 = I^2 \cdot R \quad (2-5)$$

gdje je :

- $I$  – struja koja prolazi jezgrom voda (A),
- $R$  – Zbroj otpora obje jezgre voda ( $\Omega$ ).

2. Gubici propuštanja  $\Delta P_2(W)$ 

U proporciji je s kvadratom napona:

$$\Delta P_2 = U^2 \cdot G \quad (2-6)$$

$$G = \frac{2\pi lr}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2-7)$$

gdje je:

- $U$  – napon između jezgre voda (V),
- $G$  – vodljivosti  $\left(\frac{1}{\Omega}\right)$
- $l$  – duljina voda (m),
- $r_1$  – opseg jezgre voda (cm),
- $r_2$  – unutarnji opseg voda (cm).

3. Gubici dielektričnog magnetiziranja  $\Delta P_3(W)$ 

U proporciji je s kvadratom struje i frekvencijom:

$$\Delta P_3 = I^2 \omega L \tan \delta \quad (2-8)$$

$$L = \frac{l\mu}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2-9)$$

gdje je:

- $\Omega$  – izmjenična frekvencija  $\left(\frac{1}{s}\right)$ ,
- $L$  – induktivitet vode  $\left(\frac{Wb}{A}\right)$ ,
- $\mu$  – magnetska provodljivost  $(\Omega s/m)$

4. Gubici dielektrične polarizacije  $\Delta P_4(W)$ 

U proporciji je s kvadratom napona i frekvencije:

$$\Delta P_4 = U^2 \omega C \tan \delta \quad (2-10)$$

$$C = \varepsilon \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2-11)$$

gdje je:

- $C$  – kapacitet voda (F),
- $\varepsilon$  – dielektrička konstanta voda (F/m)

U elektromagnetskom sustavu osnovne vrste gubitaka djelatne snage predstavljaju gore navedeni gubici.

## 2.4 Skin efekt

---

Nejednaka raspodjela struje se javlja kada kroz vodič protječe izmjenična struja [4]. Gustoća struje ( $A/mm^2$ ) je najveća na površini vodiča, dok je u sredini vodiča najmanja. Takva pojava se naziva skin efekt. Pri jakom skin efektu u sredini vodiča ne teče gotovo nikakva struja jer uglavnom teče ispod same površine vodiča [4]. Utjecaj skin efekta je utoliko veći ukoliko je [4]:

- veći presjek vodiča
- veća frekvencija struje,
- veći specifični otpor materijala vodiča,
- veća permabilnost materijala vodiča,

Utjecaj skin efekta na povećanje otpora pri frekvenciji od 50 Hz je neznatan kod vodiča presjeka  $150 \text{ mm}^2$ . Naime, kod vodiča presjeka od  $150 \text{ mm}^2$  povećanje otpora uslijed skin efekta iznosi od 0,1 do 0,5 % [4]. Ako se koristi vodič koji ima veći presjek skin efekt ima veći utjecaj koji povećava otpor, takav otpor je znatan, te se ne smije zanemariti. Tako, kod vodiča presjeka  $300 \text{ mm}^2$  povećanje otpora uslijed skin efekta iznosi do 2% [4].

### 3. GUBICI NA TRANSFORMATORU

---

U transformatoru postoje „dvije“ vrste gubitaka. To su gubici u barku (električni gubici) i gubici u željezu (magnetski gubici). Električni (Joul-ovi) gubici nastaju u namotima koji se zagrijavaju zbog struje koja njima teče. Dodatni električni gubici se javljaju zbog vrtložnih struja.[5]

#### 3.1 Gubici u željezu

---

Gubici u željezu se javljaju u magnetskom krugu transformatora te nastaju zbog izmjeničnih magnetskih polja. Gubici u željezu su relativno mali te je često zanemariv, ali postoje dvije vrste gubitaka u željezu:

1. Gubici zbog histereze  $P_h \left( \frac{W}{kg} \right)$  [5]:

$$P_h = \eta \cdot V \cdot f \cdot B_m^2 \quad (3-1)$$

Gubici zbog histereze nastaju zbog izmjeničnog magnetiziranja magnetskih krugova u materijalu. Ponašanje materijala u izmjeničnom magnetskom polju ovisi o odnosu magnetske indukcije i jakosti magnetskog polja[6]. Površina histereze je proporcionalna s gubicima histereze te se može izračunati prema formuli (3-1) koja se naziva Steinmetz-ova formula.

2. Gubici zbog vrtložnih struja  $P_v (W/kg)$ [5]:

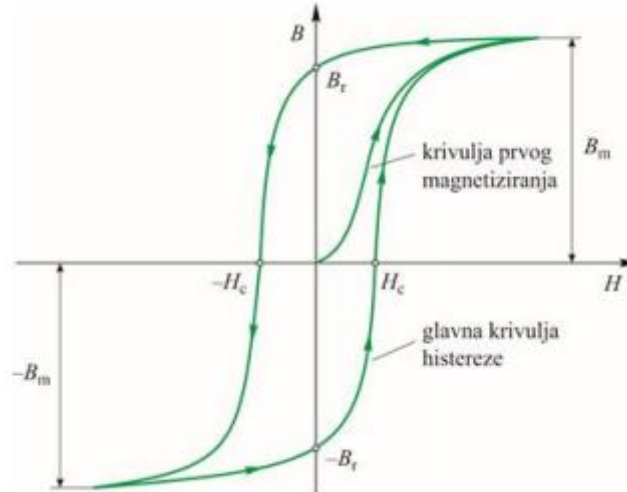
$$P_v = \sigma \cdot f^2 \cdot B_m^2 \quad (3-2)$$

Vodljivi električni materijal koji se nalazi u izmjeničnom magnetskom polju se opire polju tako što inducira struju kojom pokušava poništiti tu pojavu. Zbog otpora koji se nalazi u materijalu takve struje generiraju omske gubitke, karakteristično je kružnog oblika te se zbog toga nazivaju vrtložne struje[6]. Pošto izmjenično magnetsko polje uzrokuje vrtložne struje koje su sinusnog oblika, tako da se elektromagnetsko polje može izračunati pomoću reduciranih Maxwellovih jednadžbi.

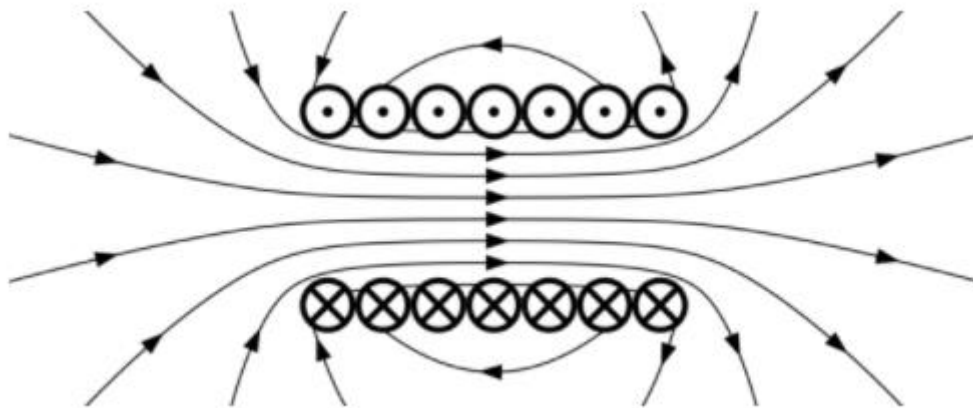
gdje je:

- $\eta$  - konstanta materijala (Steinmetzov koeficijent)
- $\sigma$  - konstanta materijala

- $V$  – obujam materijala ( $\text{m}^3$ )
- $f$  – frekvencija (Hz)
- $B_m$  – maksimalna indukcija (T)



Slika 3.1. Petlja histereza [7]

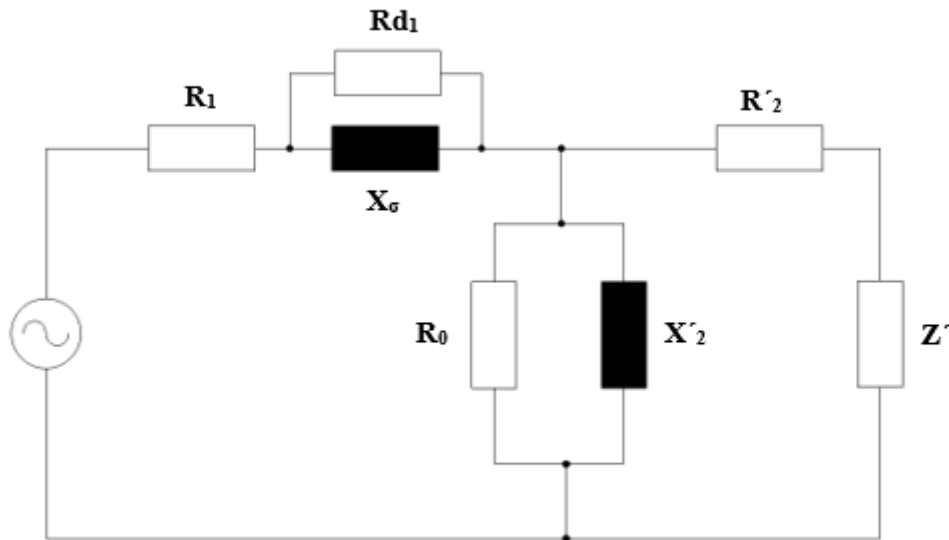


Slika 3.2 Vrtložne struje [8]

### 3.2 Rasipni magnetski tok

Rasipni magnetski tok u primarnom i sekundarnom namotu, steznom sustavu i kotlu transformatora uzrokuju vrtložne struje [9]. Amper zavoji primara i sekunda su suprotni i jednaki. Inducirani naponi uzrokuju vrtložne struje gdje kroz vodljivo sredstvo prolaze silnice magnetske indukcije, posljedica tih zbivanja su dodatni gubici u transformatoru [9].

Takvi dodatni gubici su proporcionalni kvadratu magnetske indukcije koja ih uzrokuje, a struja opterećenja stvara indukciju rasipnog toka. Dodatni se gubici prilikom porasta temperature smanjuju za razliku od osnovnih gubitaka[9].



Slika 3.3 Nadomjesna shema transformatora s dodatnim gubicima [10]

### 3.3 Gubici u namotima

Namoti transformatora, najčešće izrađeni od bakra, imaju određeni djelatni otpor na kojem se troši dio snage koji zagrijava namote, nastaju zbog djelatnog otpora. Zbog zakona o očuvanju energije struja teče putem koji rezultira najmanjim utroškom napona.

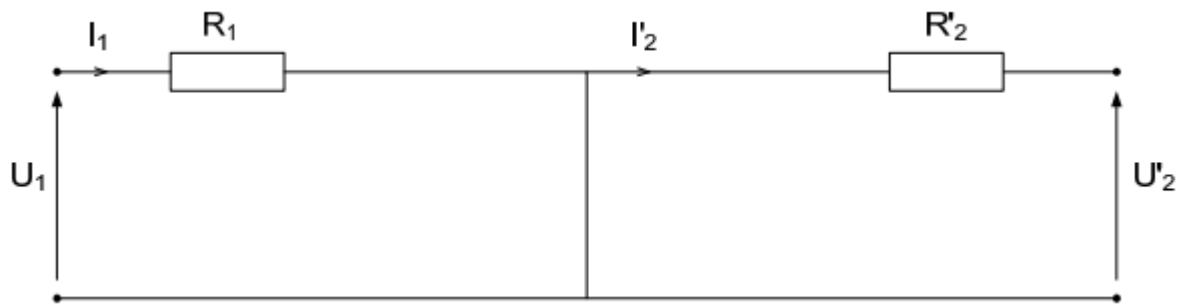
Gubici u bakru su [11]:

$$P_{cu1} = I_1^2 \cdot R_1 \quad (3-3)$$

$$P_{cu2} = I_2^2 \cdot R_2 \quad (3-4)$$

gdje su:

- $P_{cu1}, P_{cu2}$  – gubici u bakru primara i sekundara, W
- $R_1, R_2$  – djelatni otpor namota primara i sekundara,  $\Omega$



Slika 3.4 Shema otpora primarnog i sekundarnog namota

## 4. GUBICI U ELEKTRIČNOM STROJU

---

Gubici u stroju bi trebali biti što manji, zbog ekonomski razloga. Veliki gubici u stroju mogu prouzročiti prekomjerno zagrijavanje strojeva što može oštetiti ili čak i uništiti stroj. Zbog takvih čimbenika pokušava se pomoću simulacija koje slijede smanjiti gubici te smanjiti grijanje strojeva za bolji i efikasniji rad.

### 4.1. Sinkroni strojevi

---

U sinkronom stroju rotor se vrti jednakom brzinom kao i okretno magnetsko polje koje ga pokreće, ne postoji klizanje odnosno ono je jednako nuli. Može raditi u motorskom i generatorskom režimu rada.

Kod realnog sinkronog stroja postoje razni gubici kao što su:

- Gubici koji stvaraju radni otpori namota
- Rasipne reaktancije koje stvaraju protunapone
- Gubici u željezu
- Gubici u trenju ležajeva

Gubici u stroju najčešće iznose neki postotak snage. Što znači da je uvijek predana energija manja u odnosu na uloženu energiju iz sustava, zbog toga što se prilikom pretvorbe energije određeni dio energije gubi odnosno pretvara u toplinu.

### 4.2. Asinkroni strojevi

---

Asinkroni ili induktivni strojevi imaju rotor bez istaknutih polova te raspoređen namot na obodu rotora. U vodičima rotorskog namota naponi se induciraju okretnim magnetskim poljem statora. Kada je stroj opterećen poteče struja.

Kod mehaničke snage asinkronog motora postoje razni gubici koji slijede iz navedene formule[12]:

$$P_{meh} = P + P_{dameh} + P_{dad} \quad (4-3)$$

gdje su:



- $P_{dmech}$  – Gubici uslijed trenja ležaja i ventilacije.
- $P_{dad}$  – dodatni gubici uslijed harmonika magnetskog polja

Kada motor uzima iz mreže električnu snagu  $P_{in}$  postoje drugi gubici[12]:

$$P_{\delta} = P_{in} - P_{ws} - P_{Fes} \quad (4-4)$$

gdje su:

- $P_{in}$  – Električna snaga iz mreže,
- $P_{ws}$  – Gubici u statorskom namotu,
- $P_{Fes}$  – Gubici u željezu,
- $P_{\delta}$  – Ostatak snage u zračnom rasporu

Električni gubici  $P_{dr}$  u kaveznom rotoru su samo gubici u rotorskom namotu  $P_{wr}$ [12]:

$$P_{dr} = P_{wr} \quad (4-5)$$

Dok u kolutnom motoru nastaju još gubici  $P_{Rad}$  u vanjskim otporima, ako su uključeni u rotorskom krugu[12]:

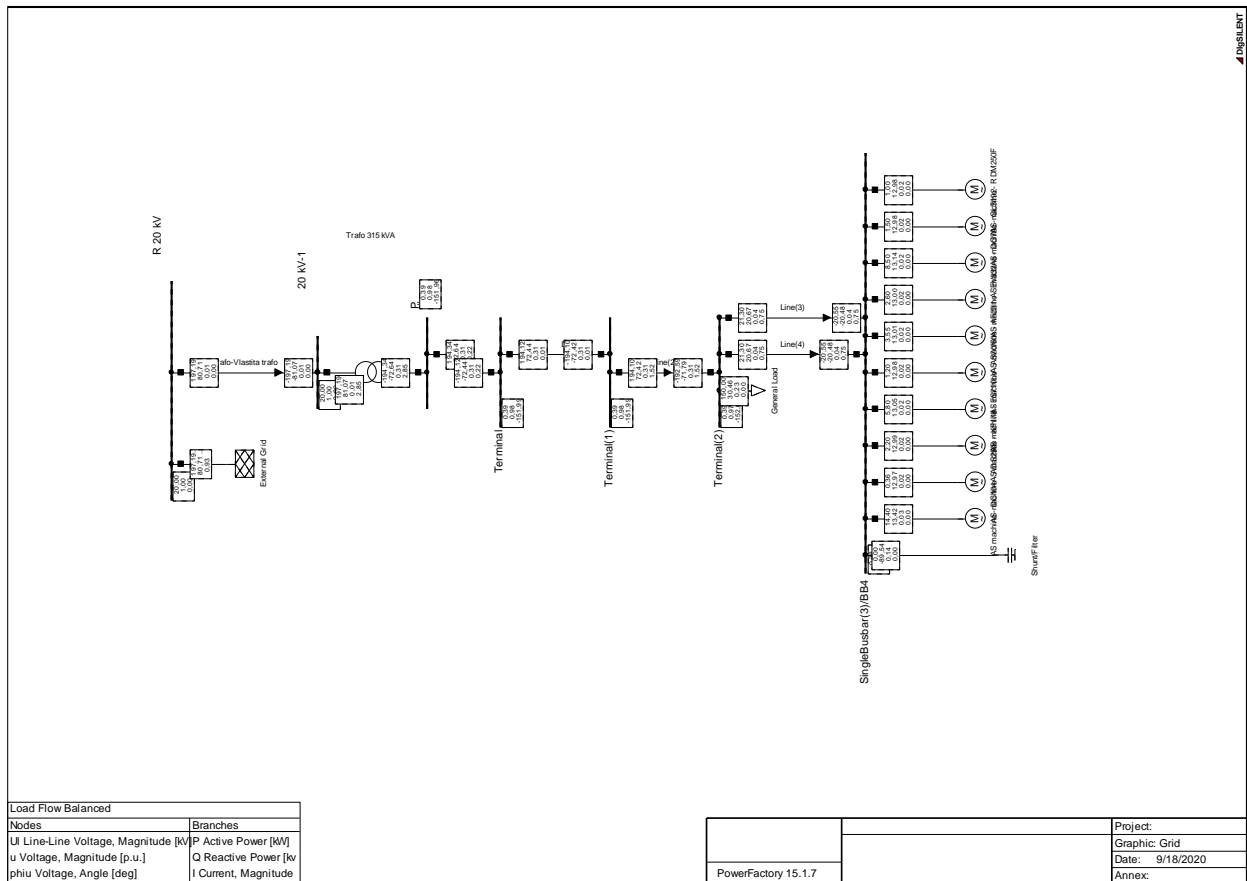
$$P_{dr} = P_{wr} + P_{Rad} \quad (4-6)$$

Viši harmonici izazivaju dodatne gubitke koji nastaju u željezu i u namotima. Stvaraju gubitke histereze u željezu i gubitke vrtložnih struja, te struje viših harmonika stvaraju gubitke u namotima u namotima [12]. Zbog tih gubitaka se stroj više zagrijava. Što ima manje viših harmonika to ima manje gubitaka, zbog toga ih pokušavamo izbjegavati ili što više smanjiti.

## 5.SIMULACIJA I ANALIZA MALOG INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA

Laboratorijska simulacija odrađena je u programu DIGSILENT. Simulirat će se određena opterećenja koja se mogu dobiti u malom industrijskom postrojenju te kakvi će biti gubici u određenim slučajevima.

Simulacija se izvodi prema malom industrijskom postrojenju TENAX d.o.o, koje proizvodi PVC stolariju, pomoću različitih asinkronih stojeva koje režu i vare te čiste „profile“ za stolariju.



**Slika 5.1.** Shema distribucijske mreže s motorima na kojima se vrši simulacija

U shemi sa slike 5.1 se koriste sljedeći elementi:

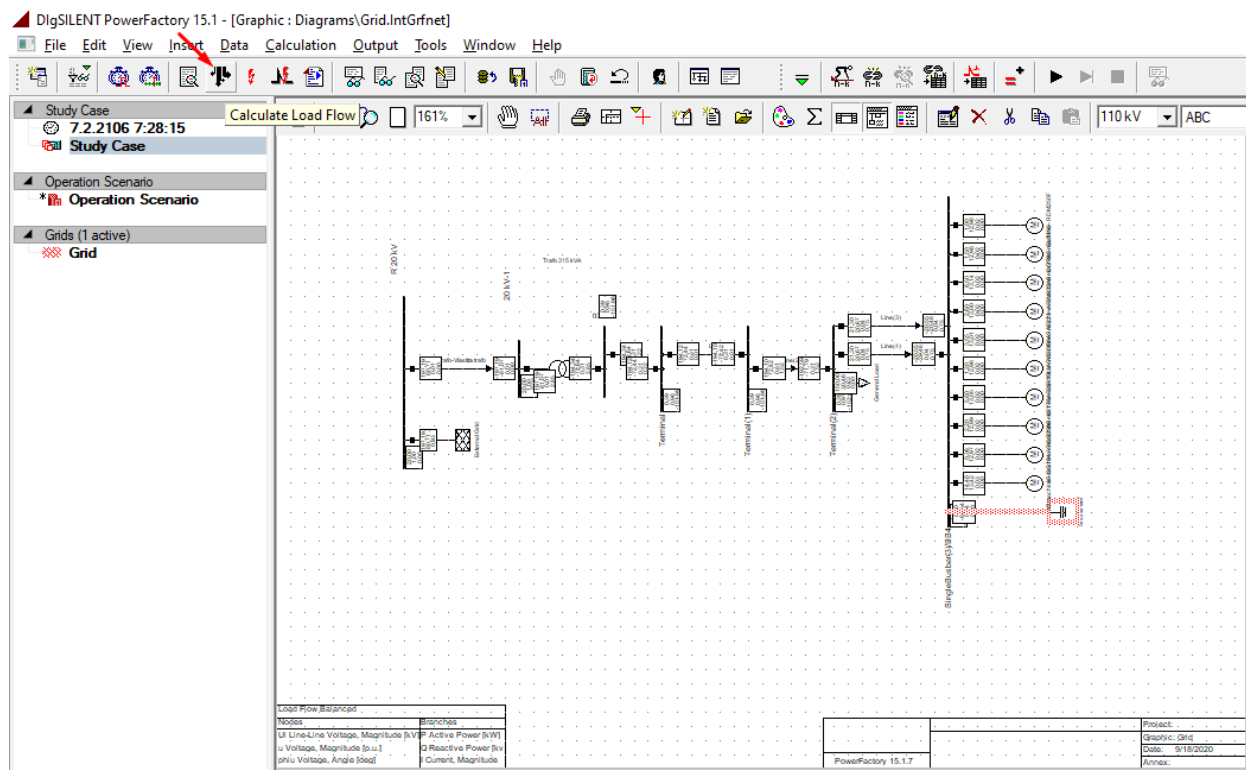
| Elementi     | Tipovi elementa   | Napon   |
|--------------|-------------------|---------|
| 19 Sabirnica |                   |         |
| Vodovi       | 2x NYBY 4x240sm   | 0.6/1kV |
|              | 2x NA2XRY 4x120sm | 0.6/1kV |
|              | NAYBY 4x185sm     | 0.6/1kV |
|              | NA2YSY 1x185rm    | 12/20kV |

## 5. SIMULACIJA I ANALIZA MALOG INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA

| Asinkroni motori             | Tipovi elementa       | Snaga     |
|------------------------------|-----------------------|-----------|
|                              | ADS259                | 3,6 kW    |
|                              | AF221                 | 3,55 kW   |
|                              | AS70/60               | 1,2 kW    |
|                              | DG104                 | 14,4 kW   |
|                              | DG79                  | 8,5 kW    |
|                              | ES710LV               | 5,8 kW    |
|                              | EV832                 | 2,6 kW    |
|                              | GLS192                | 1,5 kW    |
|                              | KF178                 | 0,74 kW   |
|                              | RDM250F               | 1 kW      |
| Transformator                | 20/0.4 kV 1.05 GEAFOL | 0.315 MVA |
| Kompenzacijska baterija 0,4V |                       | 0.1Mvar   |

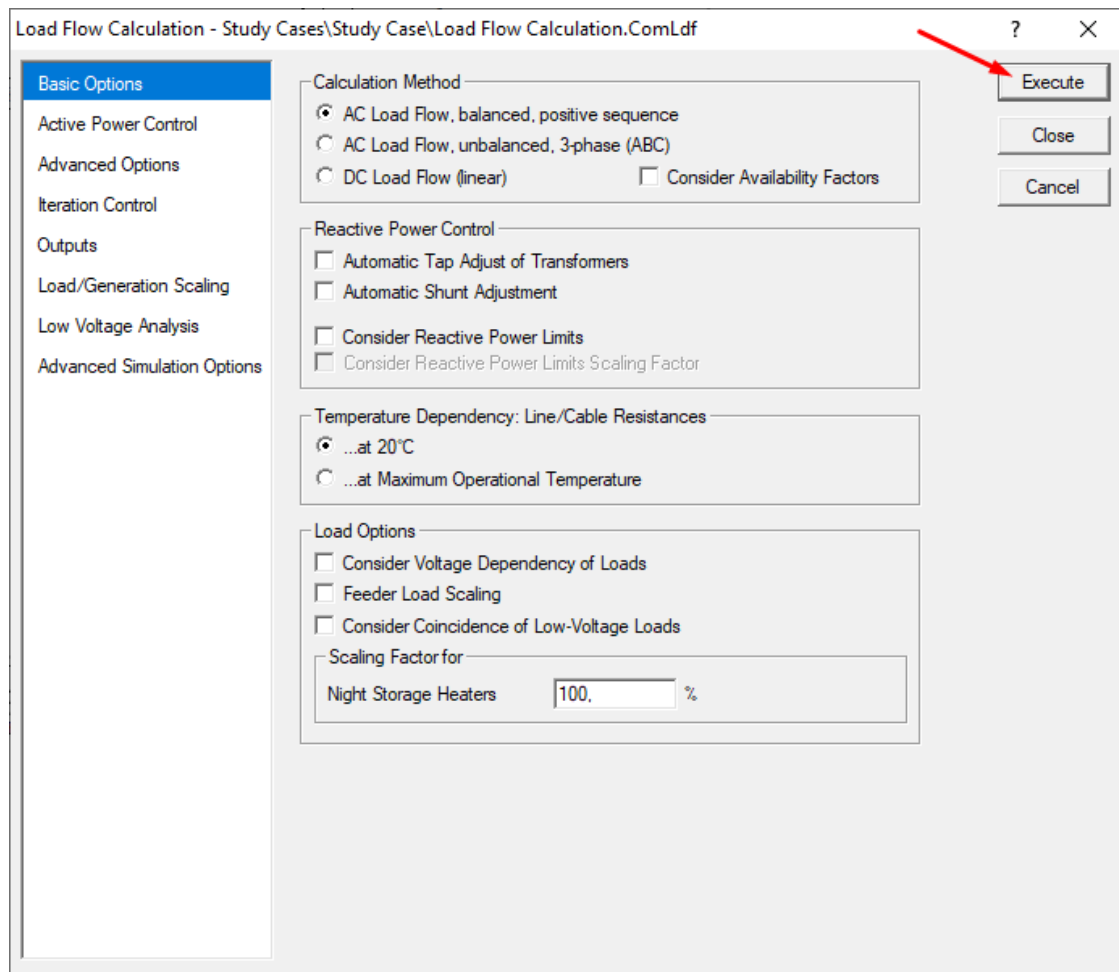
**Tablica 5.1.** Svi elementi mreže

Za izvršenje simulacije koristi se „Calculate Load Flow“ ,prilikom čega se simulirati rad u shemi.



**Slika 5.2.** Gumb za pokretanje simulacije.

## 5. SIMULACIJA I ANALIZA MALOG INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA



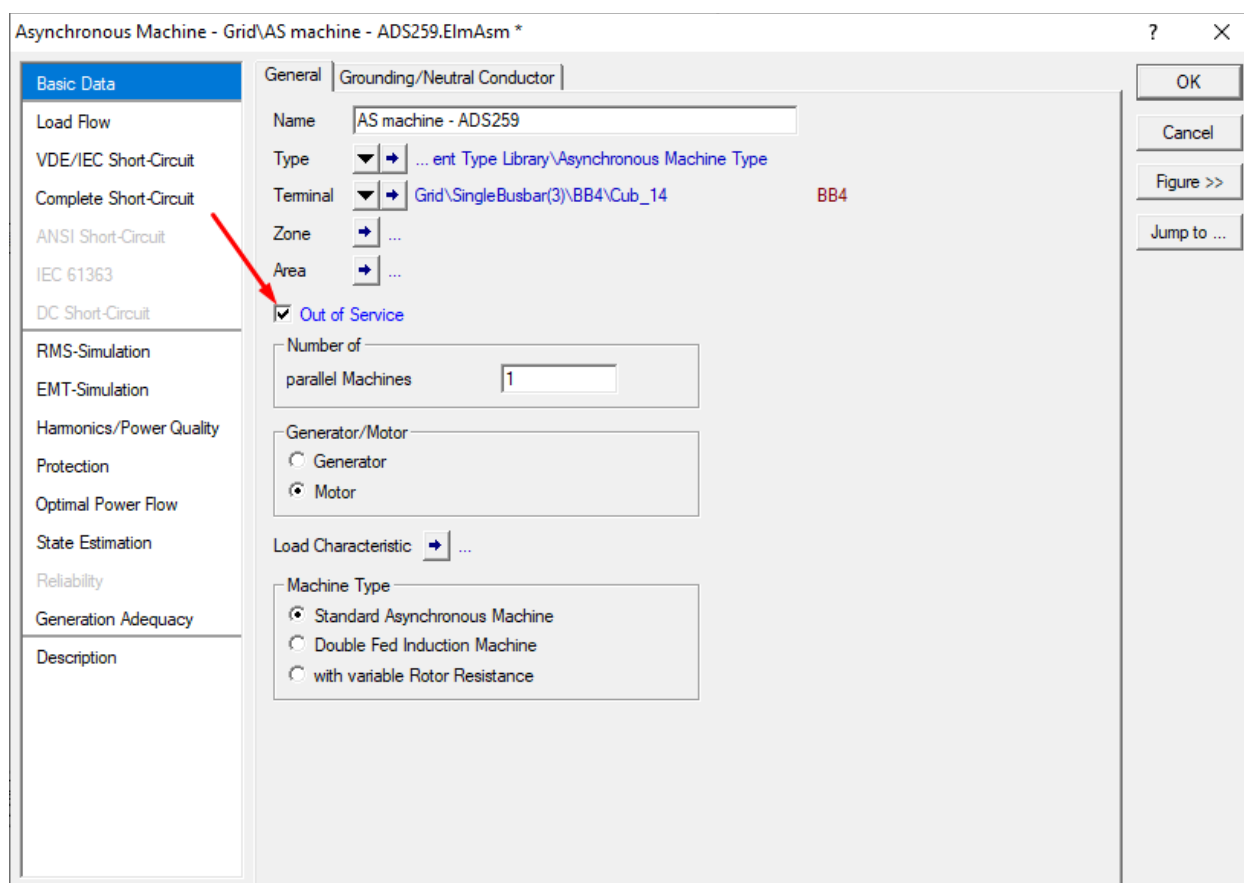
**Slika 5.3** Za pokretanje simulacije dovoljno je stisnuti na tipku Execute.

U nastavku rada prikazat će se nekoliko slučajeva u kojima smo mijenjali broj aktivnih motora te promjenu gubitaka u malom industrijskom postrojenju.

## 1. Prvi način rada

U prvom slučaju se trebalo prikazati analiza tokova snaga i gubitaka u mreži u malom industrijskom postrojenju prilikom rada različitih strojeva. Prikazuje se kada je u postrojenju uključen samo jedan stroj, pa sve dok nisu upaljeni svi strojevi. Prikazuje se kada je malo industrijsko postrojenje spojeno s distributivnom mrežom samo preko jednog voda duljine 0.5 km.

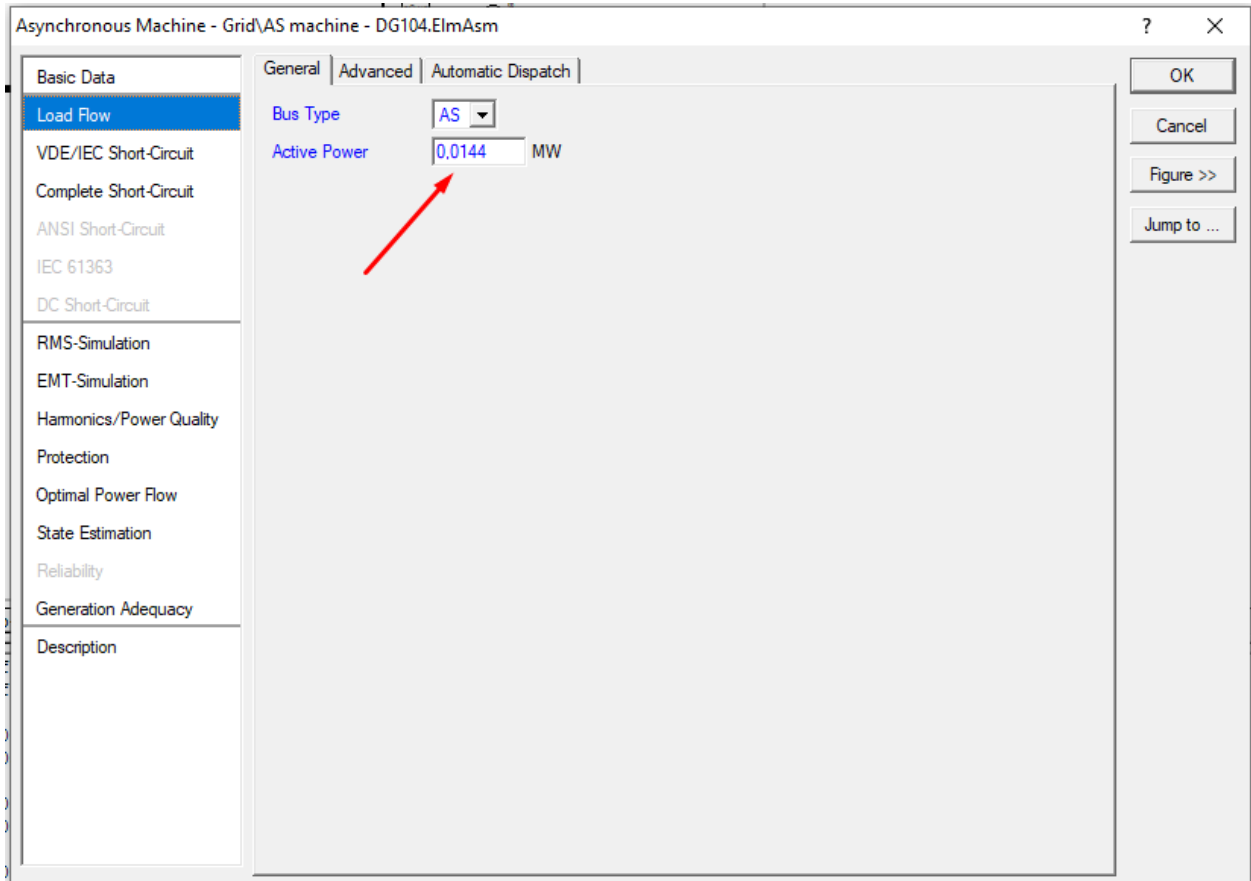
Ako se želi isključiti jedan element mreže treba se prilikom dvostrukog klika na element otvoriti sljedeći „prozor“.



**Slika 5.4.** Prikaz isključenja asinkronog motora.

Za podešavanje snage asinkronog motora mora se prilikom dvostrukog klika na element u shemi pojaviti sljedeći prozor, te se prilikom otvaranja prozora mora odabrati kategorija Load Flow.

## 5. SIMULACIJA I ANALIZA MALOG INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA



**Slika 5.5.** Prostor u kojem se upisuje snaga motora u MW.

## 1. Slučaj

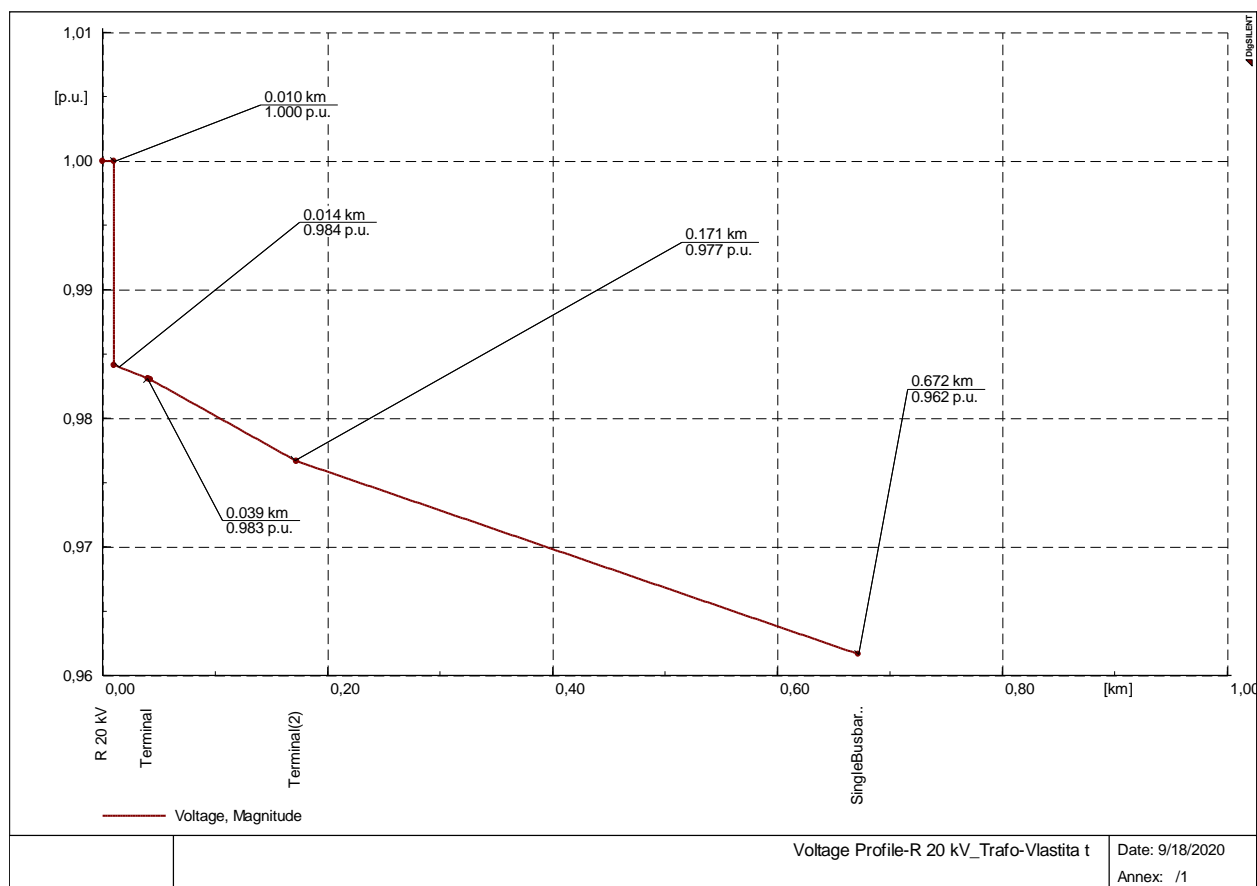
Kada je u distributivnoj mreži spojen jedan asinkroni motor (DG104) snage 14.4 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -14,4 kW    |
| Jalova snaga   | -13,83 kvar |
| Gubici         | 0,34 kW     |

**Tablica 5.2.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada samo jednog motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 168                | 50,29                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 14,4               | 13,84                |
| Gubici u mreži                             | 3,8                | 6,01                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,72          |                      |

**Tablica 5.3.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada jednog motora.



**Slika 5.6.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada jednog motora.

## 2. Slučaj

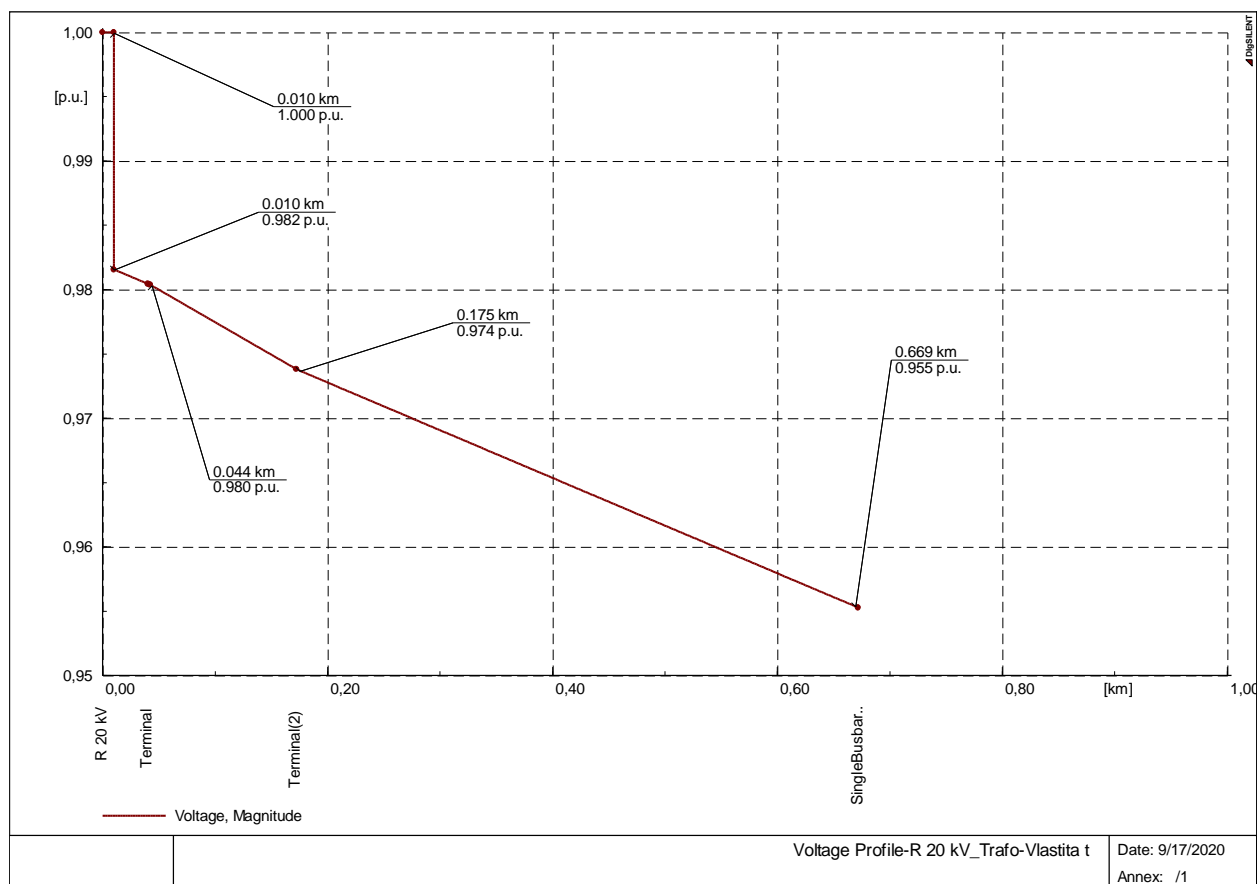
Rad kao i u prvom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (ADS259) snage 360 W.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -14,76 kW   |
| Jalova snaga   | -26,89 kvar |
| Gubici         | 0,82 kW     |

**Tablica 5.4.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada dva motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 169,18             | 63,86                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 14,76              | 26,89                |
| Gubici u mreži                             | 4,42               | 6,53                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenje: mreže/motora     | 0,98/0,48          |                      |

**Tablica 5.5.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada dva motora.



**Slika 5.7.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada dva motora.



## 3. Slučaj

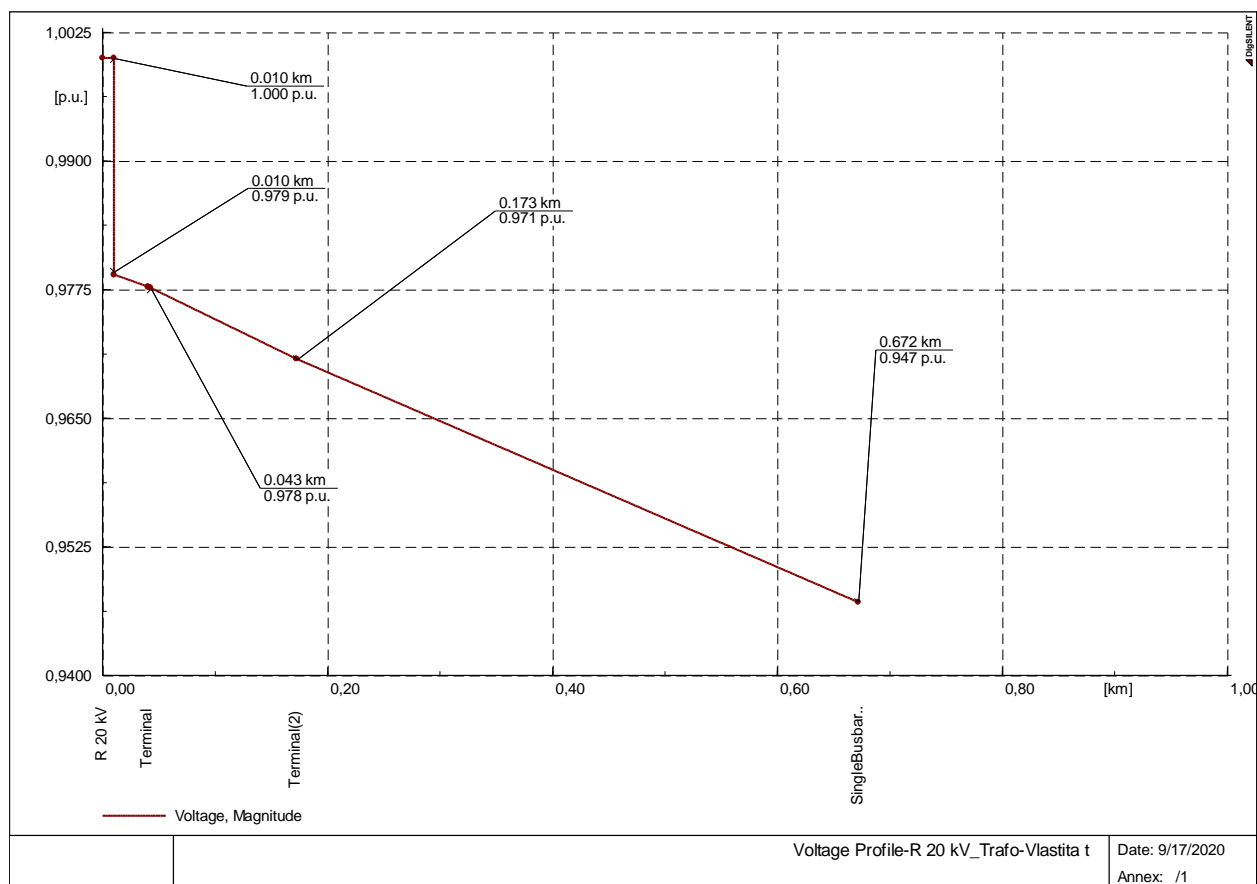
Rad kao i u drugom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (KF178) snage 740 W.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -16,95 kW   |
| Jalova snaga   | -39,45 kvar |
| Gubici         | 1,63 kW     |

**Tablica 5.6.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada tri motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 172,42             | 77,27                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 16,96              | 39,46                |
| Gubici u mreži                             | 5,47               | 7,37                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenje: mreže/motora     | 0,98/0,39          |                      |

**Tablica 5.7.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada tri motora.



**Slika 5.8.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada tri motora.

## 4. Slučaj

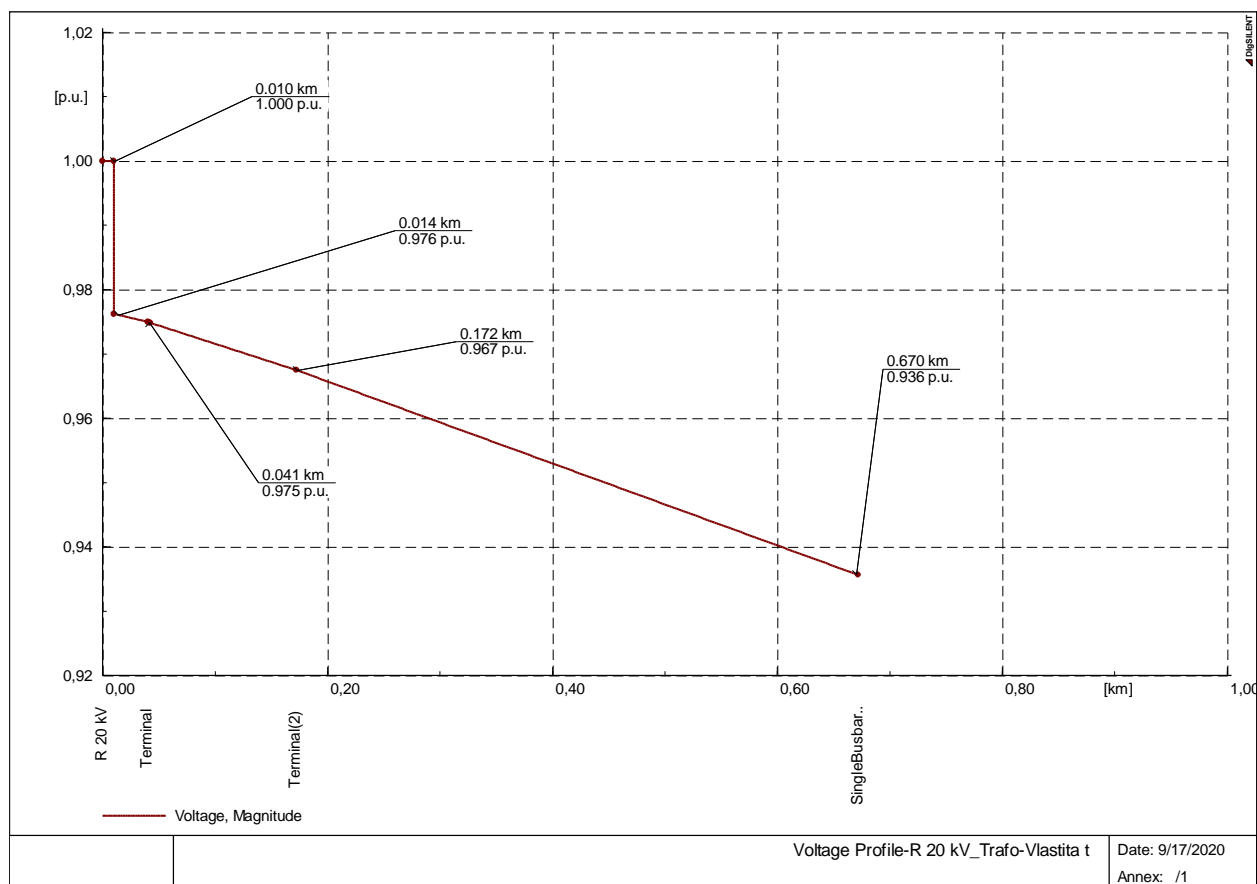
Rad kao i u trećem slučaju samo se dodaje asinkroni motor (ES710LV) snage 5.8 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | 22,75 kW    |
| Jalova snaga   | -51,27 kvar |
| Gubici         | 2,85 kW     |

**Tablica 5.8.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada četiri motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 179,81             | 90,4                 |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 22,76              | 51,28                |
| Gubici u mreži                             | 7,07               | 8,69                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,41          |                      |

**Tablica 5.9.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada četiri motora.



**Slika 5.9.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada četiri motora.

## 5. Slučaj

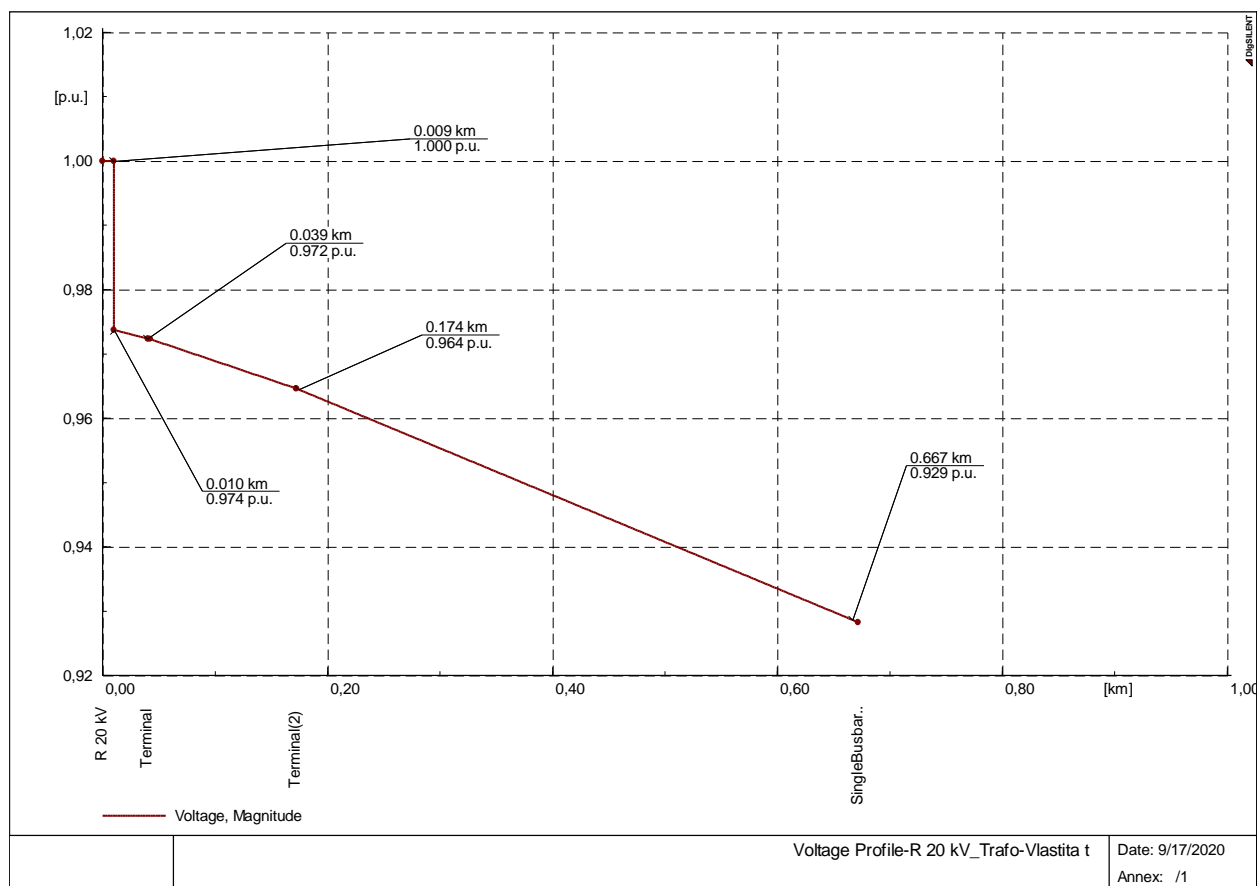
Rad kao i u četvrtom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (AS70/60) snage 1.2 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -23,96 kW   |
| Jalova snaga   | -63,02 kvar |
| Gubici         | 4,18 kW     |

**Tablica 5.10.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada pet motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 182,64             | 103,25               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 23,96              | 63,02                |
| Gubici u mreži                             | 8,68               | 9,78                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,36          |                      |

**Tablica 5.11.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada pet motora.



**Slika 5.10.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada pet motora.

## 6. Slučaj

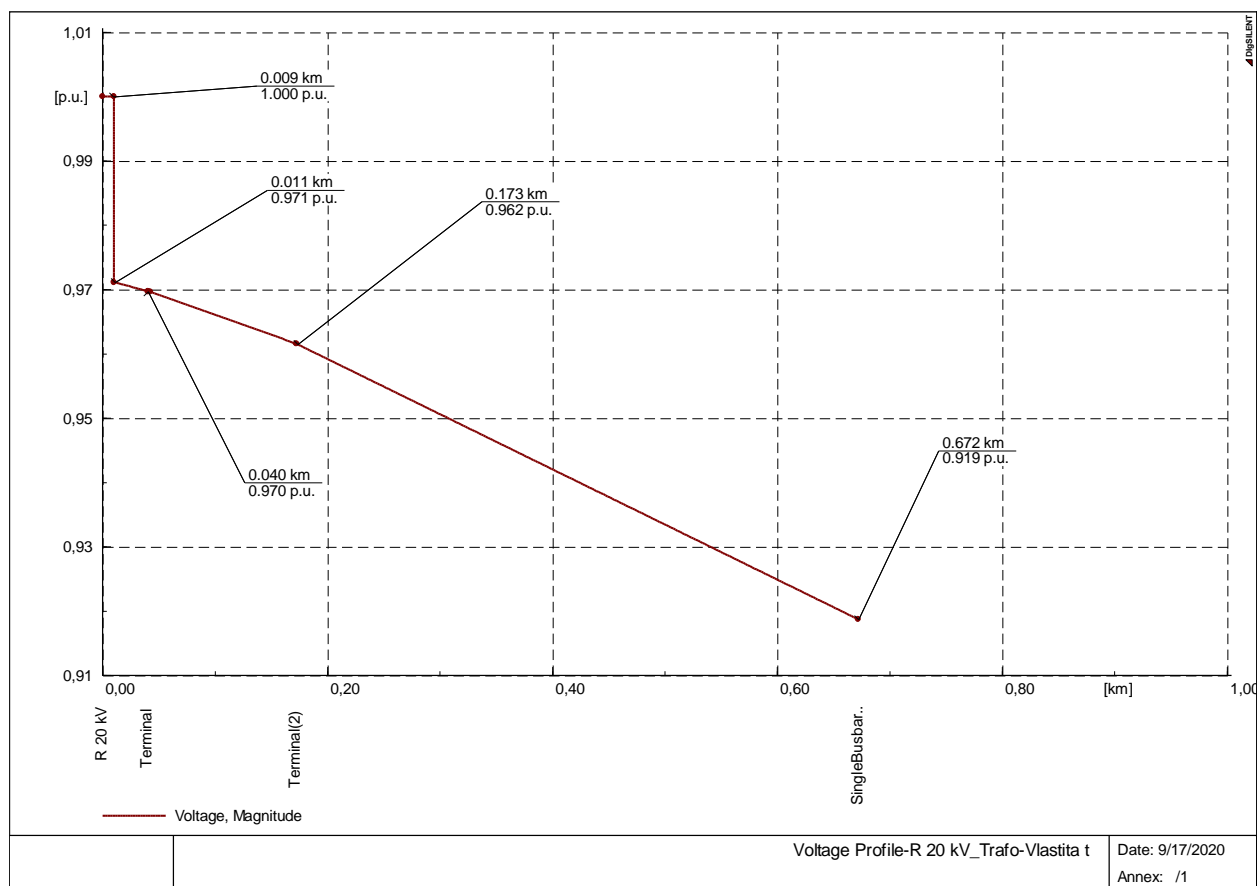
Rad kao i u petom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (AF221) snage 3.55 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -27,51 kW   |
| Jalova snaga   | -74,02 kvar |
| Gubici         | 5,86 kW     |

**Tablica 5.12.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada šest motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 188,24             | 115,7                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 27,51              | 74,02                |
| Gubici u mreži                             | 10,73              | 11,22                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,35          |                      |

**Tablica 5.13.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada šest motora.



**Slika 5.11.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada šest motora.

## 7. Slučaj

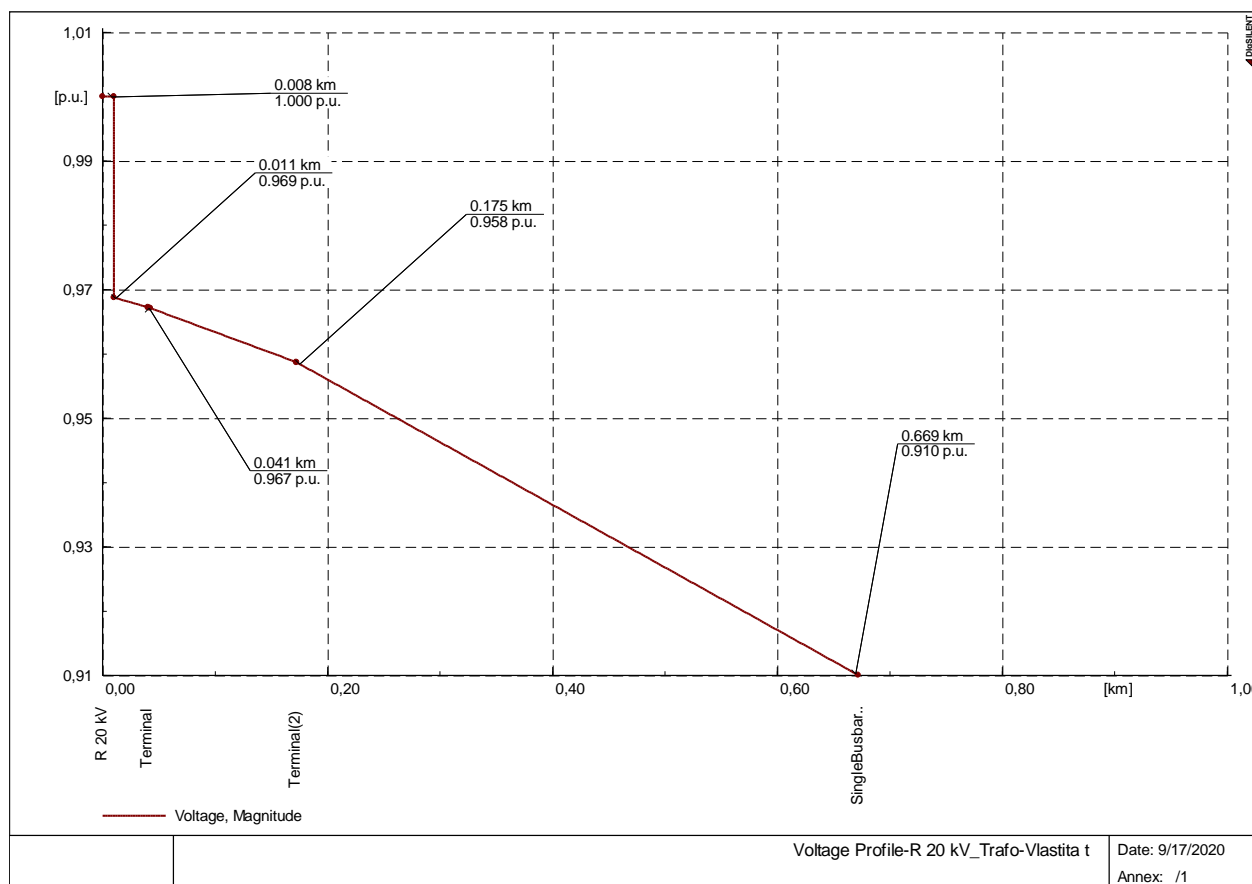
Rad kao i u šestom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (EV832) snage 2.6 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -30,11 kW   |
| Jalova snaga   | -84,68 kvar |
| Gubici         | 7,74 kW     |

**Tablica 5.14.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada sedam motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 193,1              | 127,86               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 30,11              | 84,68                |
| Gubici u mreži                             | 12,99              | 12,72                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,34          |                      |

**Tablica 5.15.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada sedam motora.



**Slika 5.12.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada sedam motora.

## 8. Slučaj

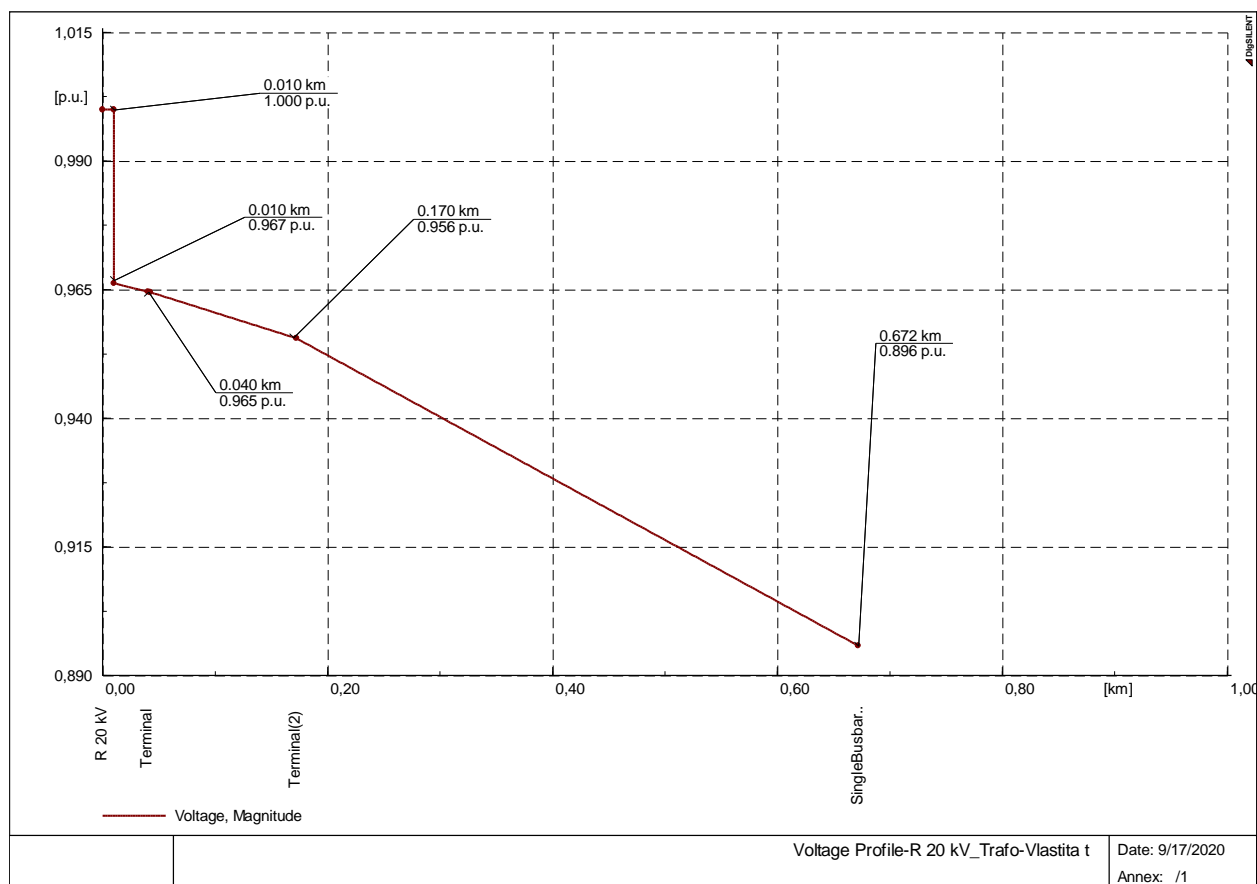
Rad kao i u sedmom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (DG79) snage 8.5 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -38,61 kW   |
| Jalova snaga   | -93,9 kvar  |
| Gubici         | 10,19 kW    |

**Tablica 5.16.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada osam motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 204,65             | 139,32               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 38,61              | 93,9                 |
| Gubici u mreži                             | 16,04              | 14,96                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,38          |                      |

**Tablica 5.17.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada osam motora.



**Slika 5.13.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada osam motora.

## 9. Slučaj

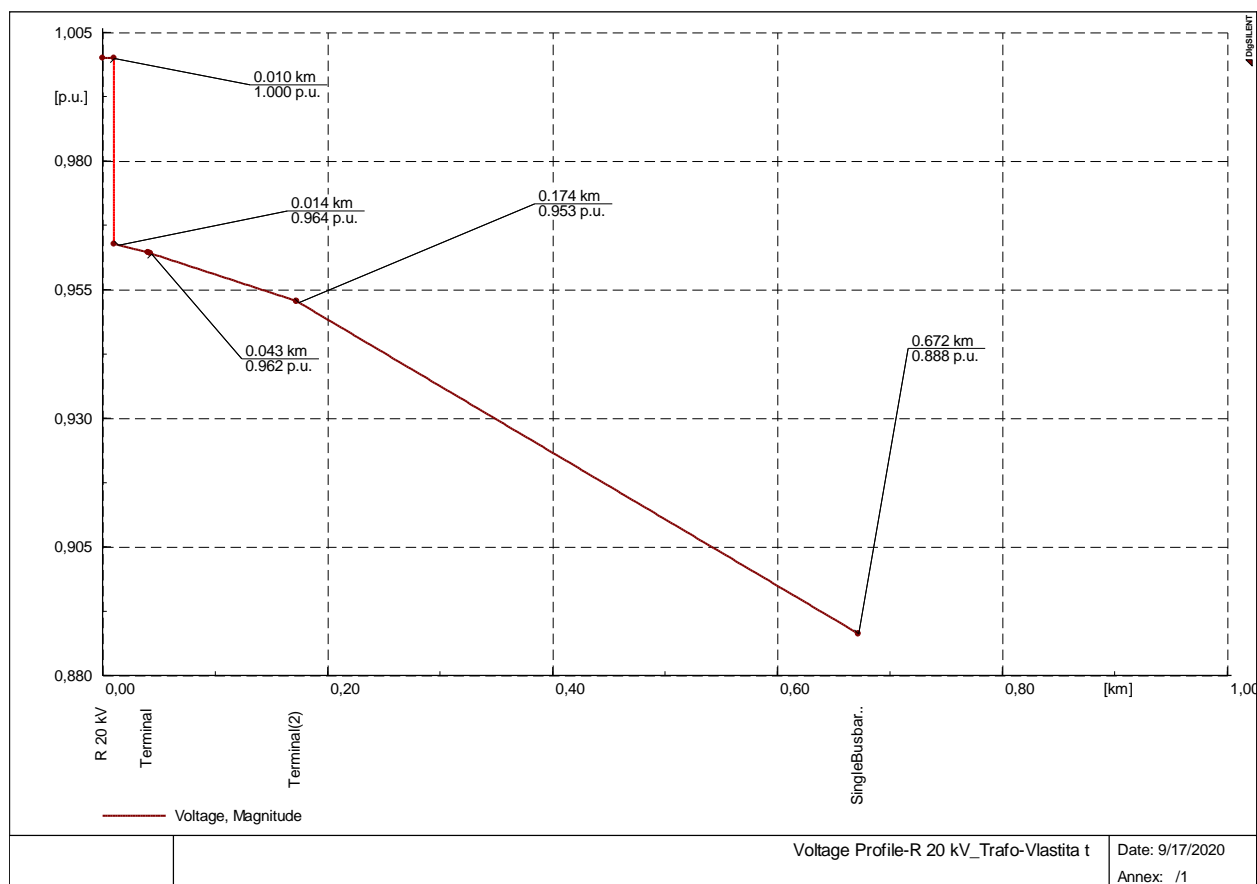
Rad kao i u osmom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (GLS192) snage 1.5 kW.

| Oznake         | Vrijednosti  |
|----------------|--------------|
| Djelatna snaga | -40,11 kW    |
| Jalova snaga   | -103,76 kvar |
| Gubici         | 12,45 kW     |

**Tablica 5.18.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada devet motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 208,81             | 150,84               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 40,11              | 103,76               |
| Gubici u mreži                             | 18,7               | 16,62                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,36          |                      |

**Tablica 5.19.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada devet motora.



**Slika 5.14.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada devet motora.

## 10. Slučaj

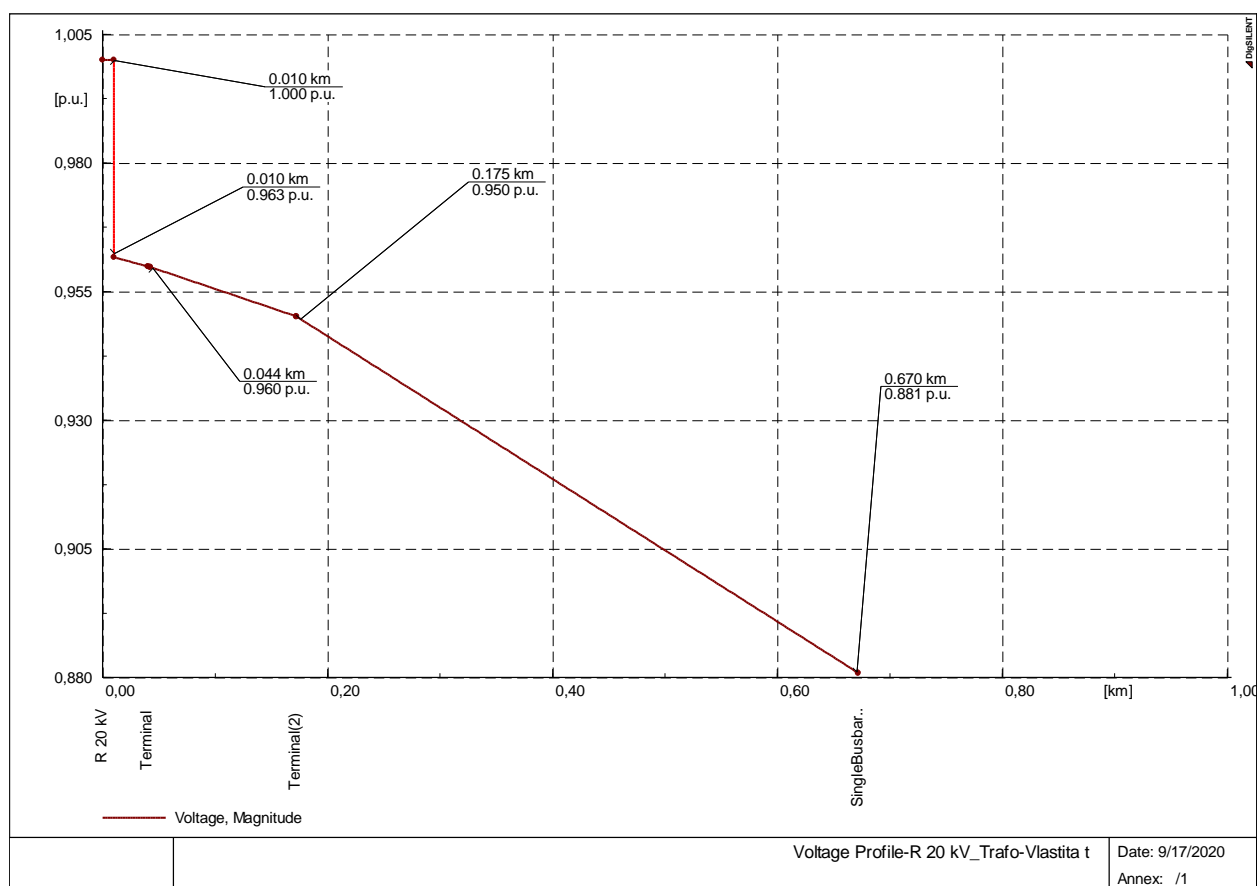
Rad kao i u devetom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (RDM250F) snage 1 kW.

| Oznake         | Vrijednosti  |
|----------------|--------------|
| Djelatna snaga | -41,11 kW    |
| Jalova snaga   | -113,36 kvar |
| Gubici         | 14,87 kW     |

**Tablica 5.20.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada deset motora.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 212,64             | 162,16               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 41,11              | 113,36               |
| Gubici u mreži                             | 21,53              | 18,34                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,34          |                      |

**Tablica 5.21.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada deset motora.

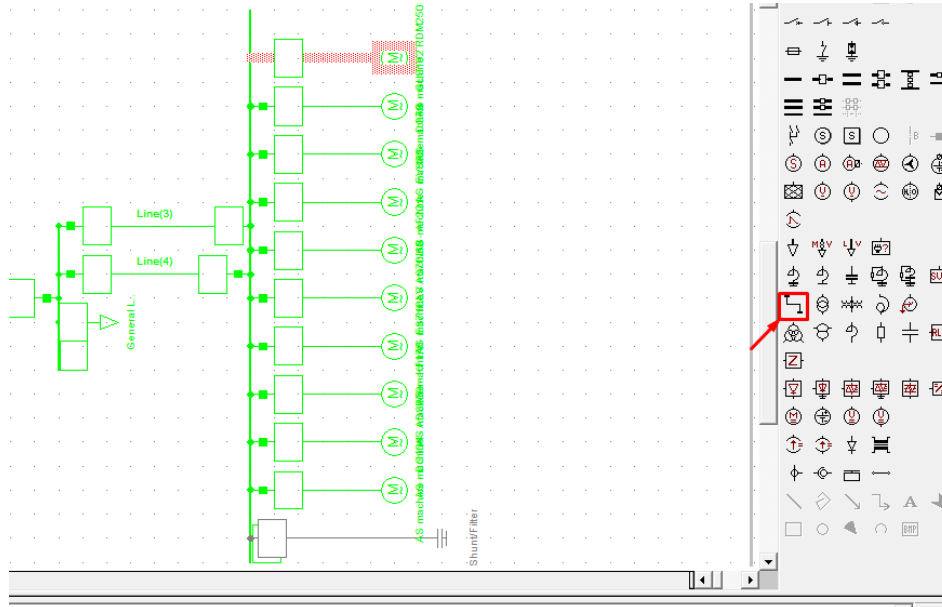


**Slika 5.15.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada deset motora.



## 2. Drugi način rada

Drugi način rada je postavljanje još jednog paralelnog voda od 0.5 km. S kojim će se simulirati smanjenje gubitaka u malom industrijskom postrojenju.



Slika 5.16. Prikaz gumba za dodavanje dodatnih vodova.

Line - Grid\Line(4).ElmLine

|                         |   |   |  |
|-------------------------|---|---|--|
| Basic Data              | Name                                    | Line(4)   | OK   |
| Load Flow               | Type                                    | ... Cable\1kV\AI\VPE\NA2XRY 4x120sm 0.6/1kV   | Cancel   |
| VDE/IEC Short-Circuit   | Terminal i                              | Grid\Terminal(2)\Cub_5  | Terminal(2)  |
| Complete Short-Circuit  | Terminal j                              | Grid\SingleBusbar(3)\BB4\Cub_16   | BB4  |
| ANSI Short-Circuit      | Zone                                    | Terminal i  |  |
| IEC 61363               | Area                                    | Terminal i  |  |
| DC Short-Circuit        | <input type="checkbox"/> Out of Service |   |  |
| RMS-Simulation          | Number of parallel Lines                | 1   | <b>Resulting Values</b><br>Rated Current (act.) 0,265 kA<br>Pos. Seq. Impedance, Z1 0,1315695 Ohm<br>Pos. Seq. Impedance, Angle 15,22772 deg<br>Pos. Seq. Resistance, R1 0,12695 Ohm<br>Pos. Seq. Reactance, X1 0,03455752 Ohm<br>Zero Seq. Resistance, R0 0,5078 Ohm<br>Zero Seq. Reactance, X0 0,1382301 Ohm<br>Earth-Fault Current, Ice 0,0950068 A<br>Earth Factor, Magnitude 1,<br>Earth Factor, Angle 0,00000209 deg |
| EMT-Simulation          | Parameters                              |   |  |
| Harmonics/Power Quality | Thermal Rating                          | ...   |  |
| Optimal Power Flow      | Length of Line                          | 0,5 km  |  |
| Reliability             | Derating Factor                         | 1,  |  |
| Generation Adequacy     | Laying                                  | Ground  |  |
| Tie Open Point Opt.     | Type of Line                            | Cable   |  |
| Cable Sizing            | Line Model                              | <input checked="" type="radio"/> Lumped Parameter (PI)<br><input type="radio"/> Distributed Parameter |  |
| Description             | Sections/Line Loads                     |   |  |

Slika 5.17. Podaci drugog voda.

## 1. Slučaj

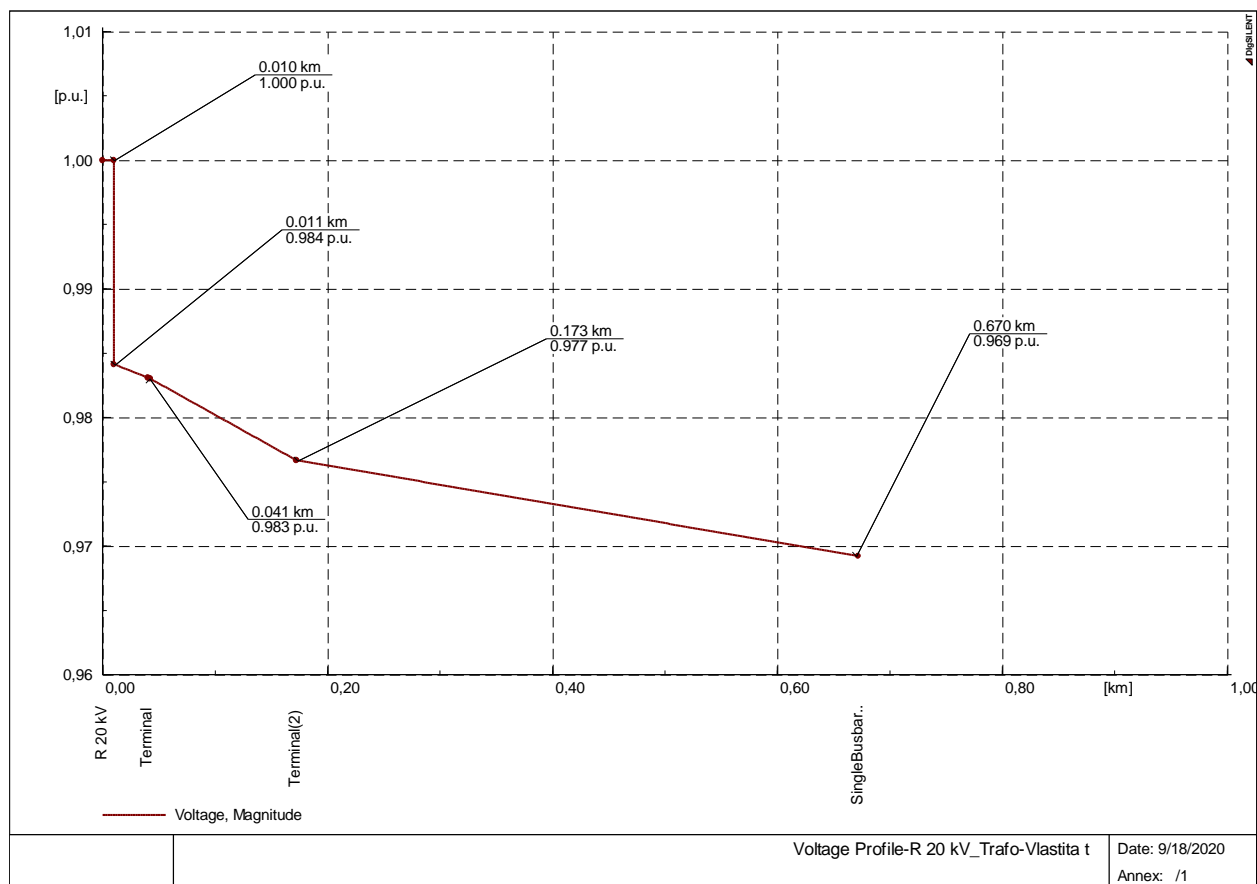
Kada je u distributivnoj mreži spojen jedan asinkroni motor (DG104) snage 14.4 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -7,2 kW     |
| Jalova snaga   | -7,02 kvar  |
| Gubici         | 0,09 kW     |

**Tablica 5.22.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada jednog motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 168,02             | 50,43                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 14,4               | 14,04                |
| Gubici u mreži                             | 3,62               | 5,94                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,41                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,72          |                      |

**Tablica 5.23.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada jednog motora.



**Slika 5.18.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada jednog motora.

## 2. Slučaj

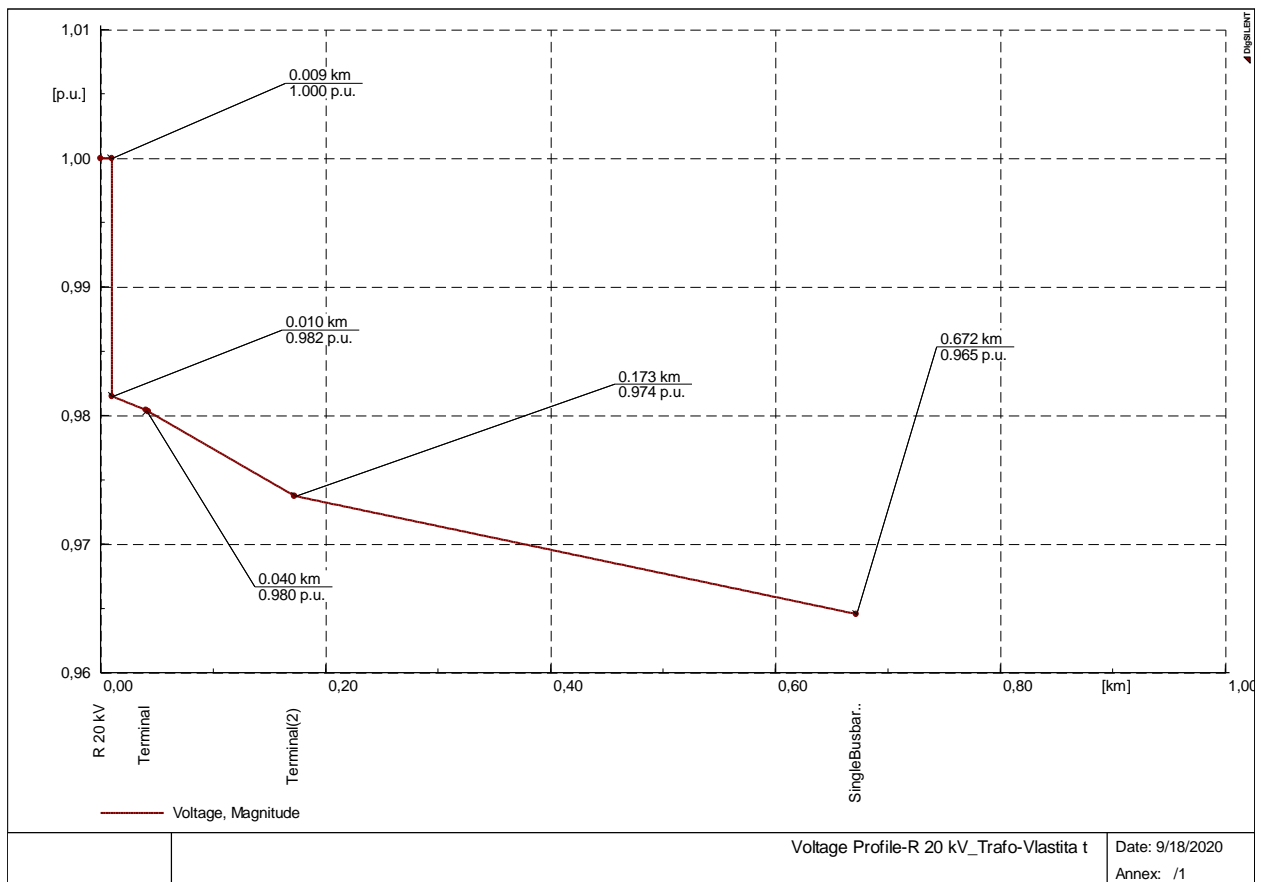
Rad kao i u prvom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (ADS259) snage 360 W.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -7,38 kW    |
| Jalova snaga   | -13,7 kvar  |
| Gubici         | 0,21 kW     |

**Tablica 5.24.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada dva motora na jednom vođu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 168,77             | 64,23                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 14,76              | 27,4                 |
| Gubici u mreži                             | 4,01               | 6,38                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,41                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,47          |                      |

**Tablica 5.25.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada dva motora.



**Slika 5.19.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada dva motora.

## 3. Slučaj

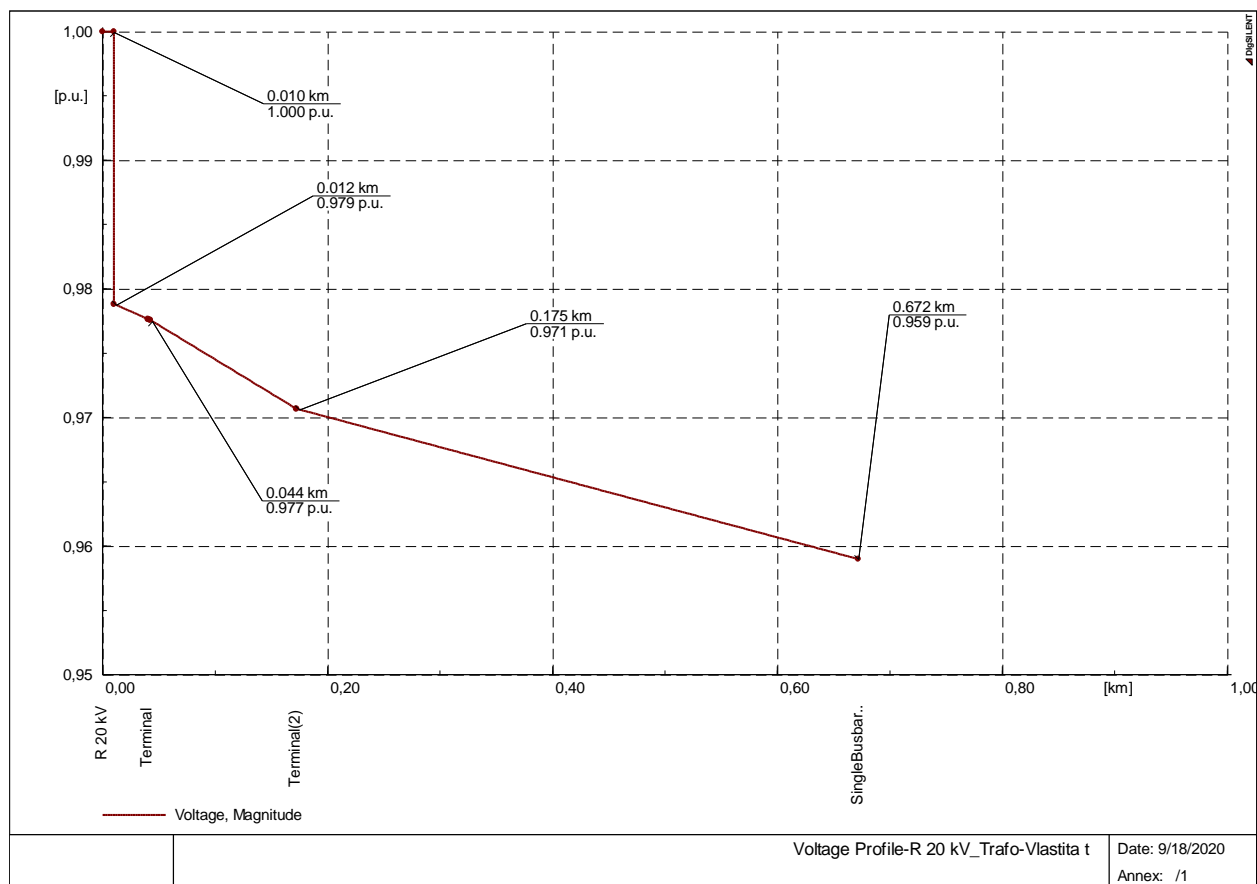
Rad kao i u drugom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (KF178) snage 740 W.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -8,48 kW    |
| Jalova snaga   | -20,22 kvar |
| Gubici         | 0,41 kW     |

**Tablica 5.26.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada tri motora na jednom vođu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 171,61             | 77,98                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 16,96              | 40,44                |
| Gubici u mreži                             | 4,66               | 7,1                  |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,41                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,39          |                      |

**Tablica 5.27.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada tri motora.



**Slika 5.20.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada tri motora.

## 4. Slučaj

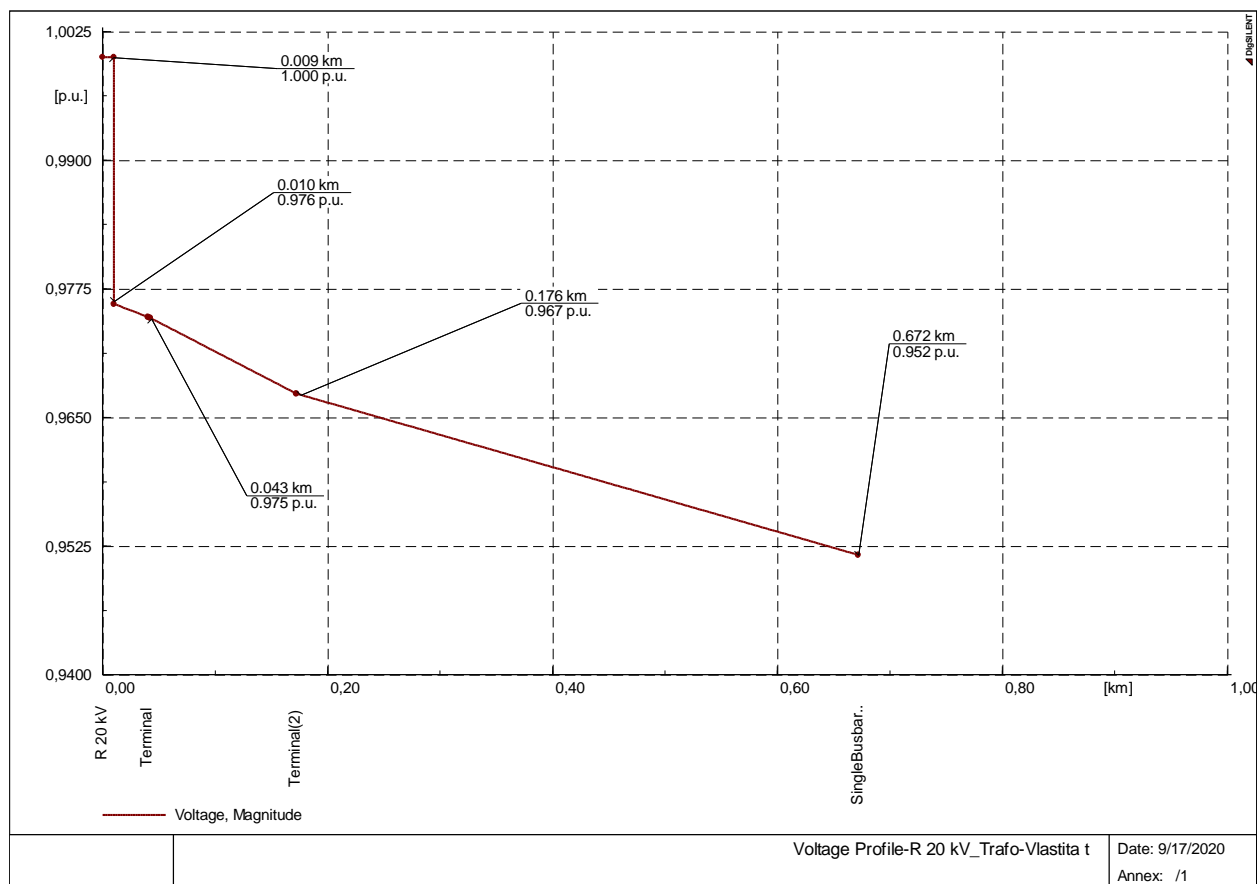
Rad kao i u trećem slučaju samo se dodaje asinkroni motor (ES710LV) snage 5.8 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -11,38 kW   |
| Jalova snaga   | -26,51 kvar |
| Gubici         | 0,73 kW     |

**Tablica 5.28.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada četiri motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 178,4              | 91,7                 |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 22,76              | 53,03                |
| Gubici u mreži                             | 5,65               | 8,24                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,39          |                      |

**Tablica 5.29.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada četiri motora .



**Slika 5.21.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada četiri motora.

## 5. Slučaj

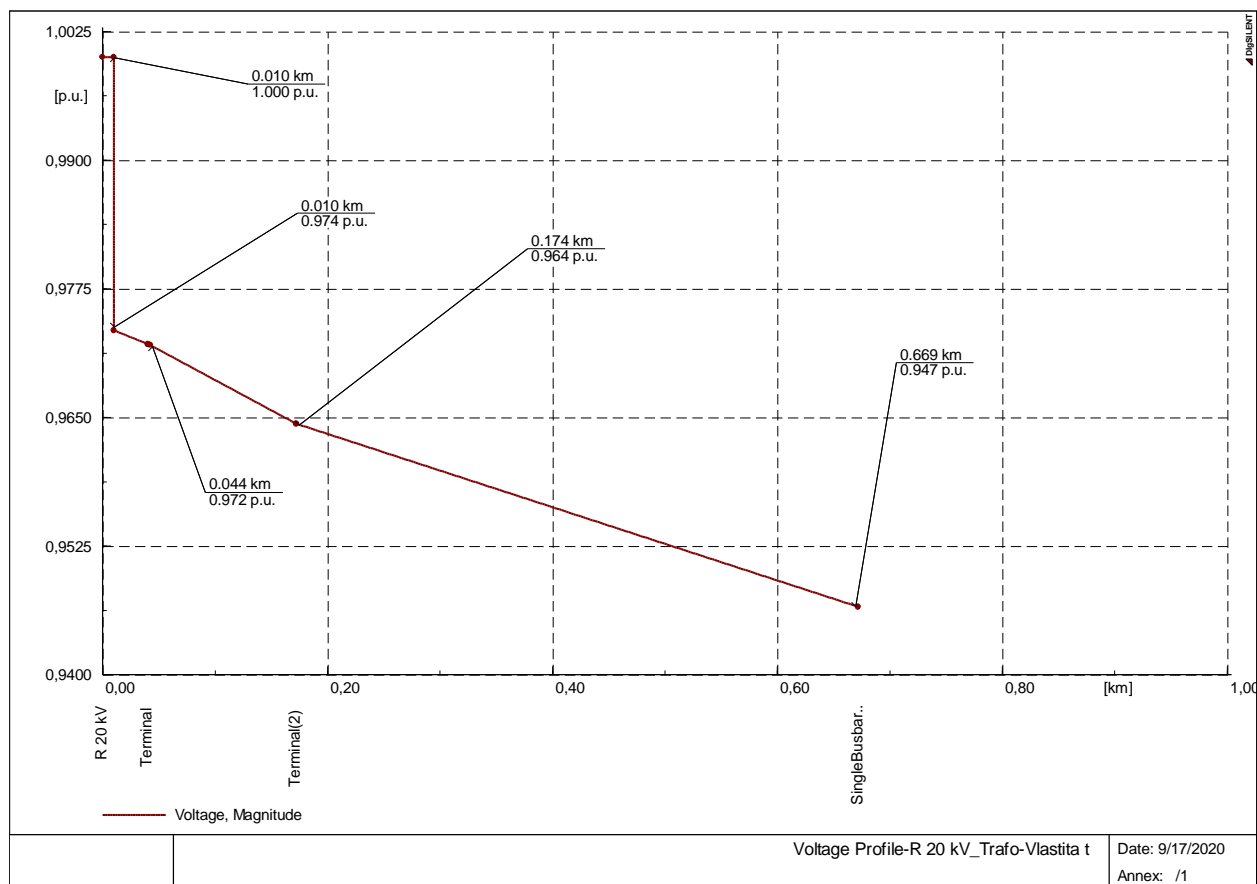
Rad kao i u četvrtom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (AS70/60) snage 1.2 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -11,98 kW   |
| Jalova snaga   | -32,73 kvar |
| Gubici         | 1,07 kW     |

**Tablica 5.30.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada pet motora na jednom vođu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 180,56             | 105,02               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 23,96              | 65,46                |
| Gubici u mreži                             | 6,61               | 9,13                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,34          |                      |

**Tablica 5.31.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada pet motora .



**Slika 5.22.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada pet motora.

## 6. Slučaj

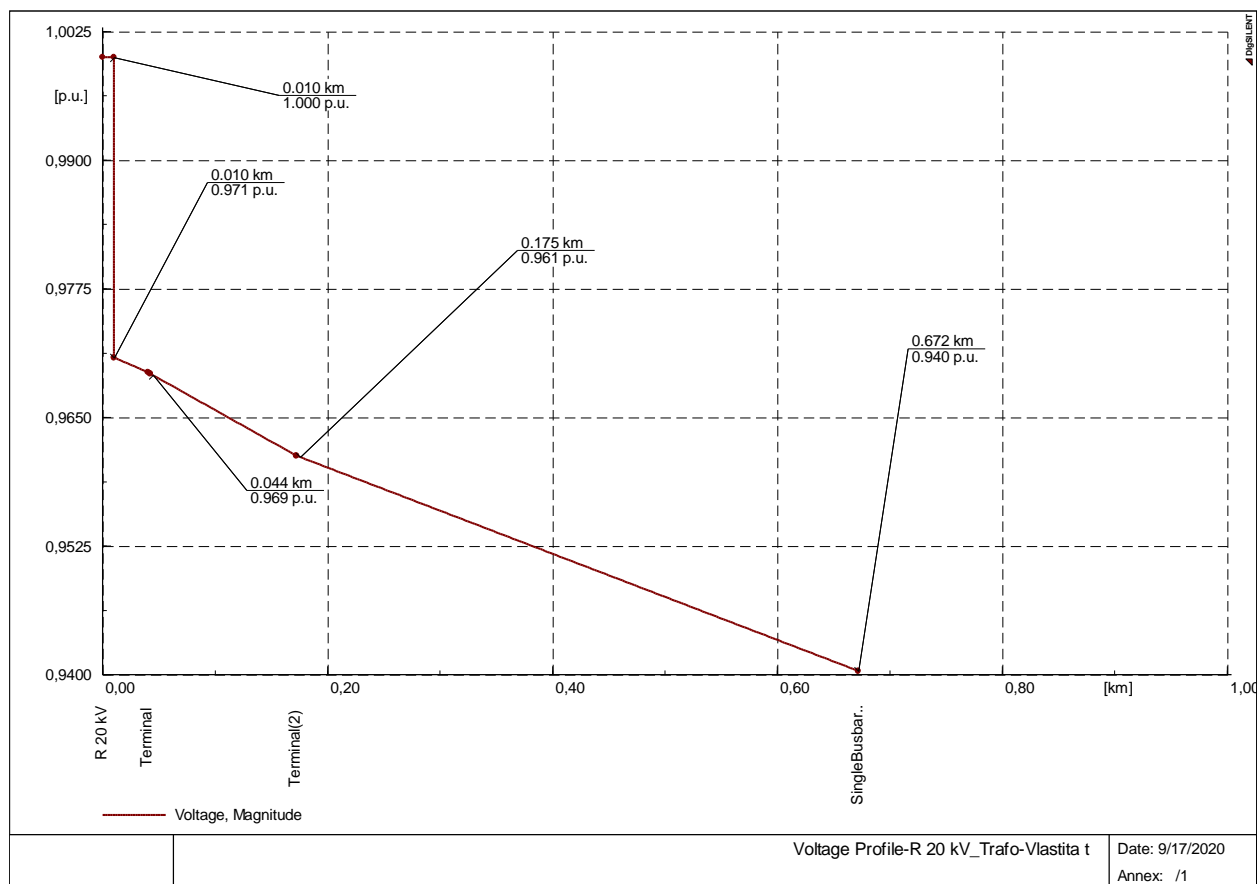
Rad kao i u petom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (AF221) snage 3.55 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -13,75 kW   |
| Jalova snaga   | -38,72 kvar |
| Gubici         | 1,51 kW     |

**Tablica 5.32.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada šest motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u[kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|-------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 185,35            | 118,22               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150               | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150               | 30,46                |
| Snaga motora                               | 27,51             | 77,46                |
| Gubici u mreži                             | 7,86              | 10,34                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                   | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,33         |                      |

**Tablica 5.33.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada šest motora .



**Slika 5.23.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada šest motora.

## 7. Slučaj

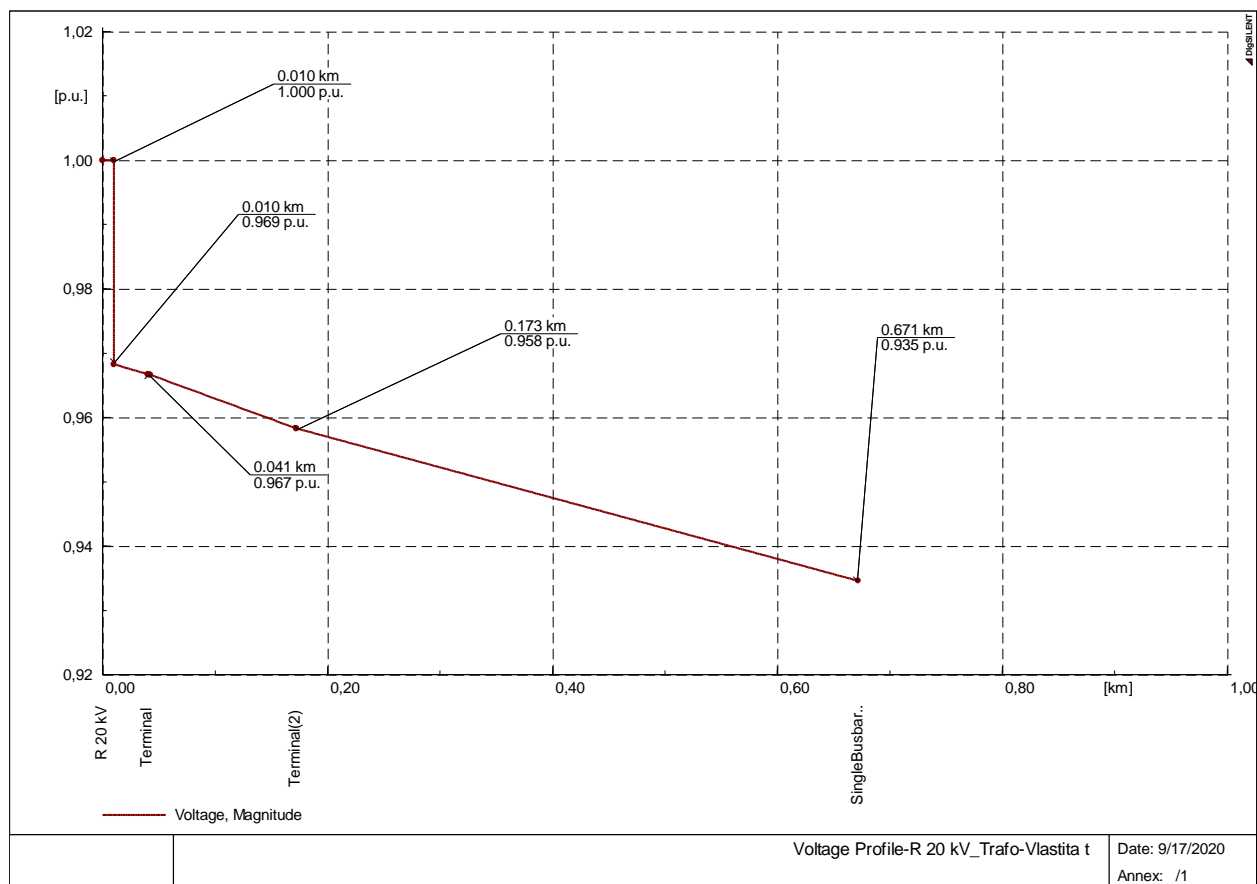
Rad kao i u šestom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (EV832) snage 2.6 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -15,05 kW   |
| Jalova snaga   | -44,59 kvar |
| Gubici         | 2,01 kW     |

**Tablica 5.34.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada sedam motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 189,31             | 131,2                |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 30,12              | 89,21                |
| Gubici u mreži                             | 9,23               | 11,58                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,32          |                      |

**Tablica 5.35.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada sedam motora .



**Slika 5.24.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada sedam motora.



## 8. Slučaj

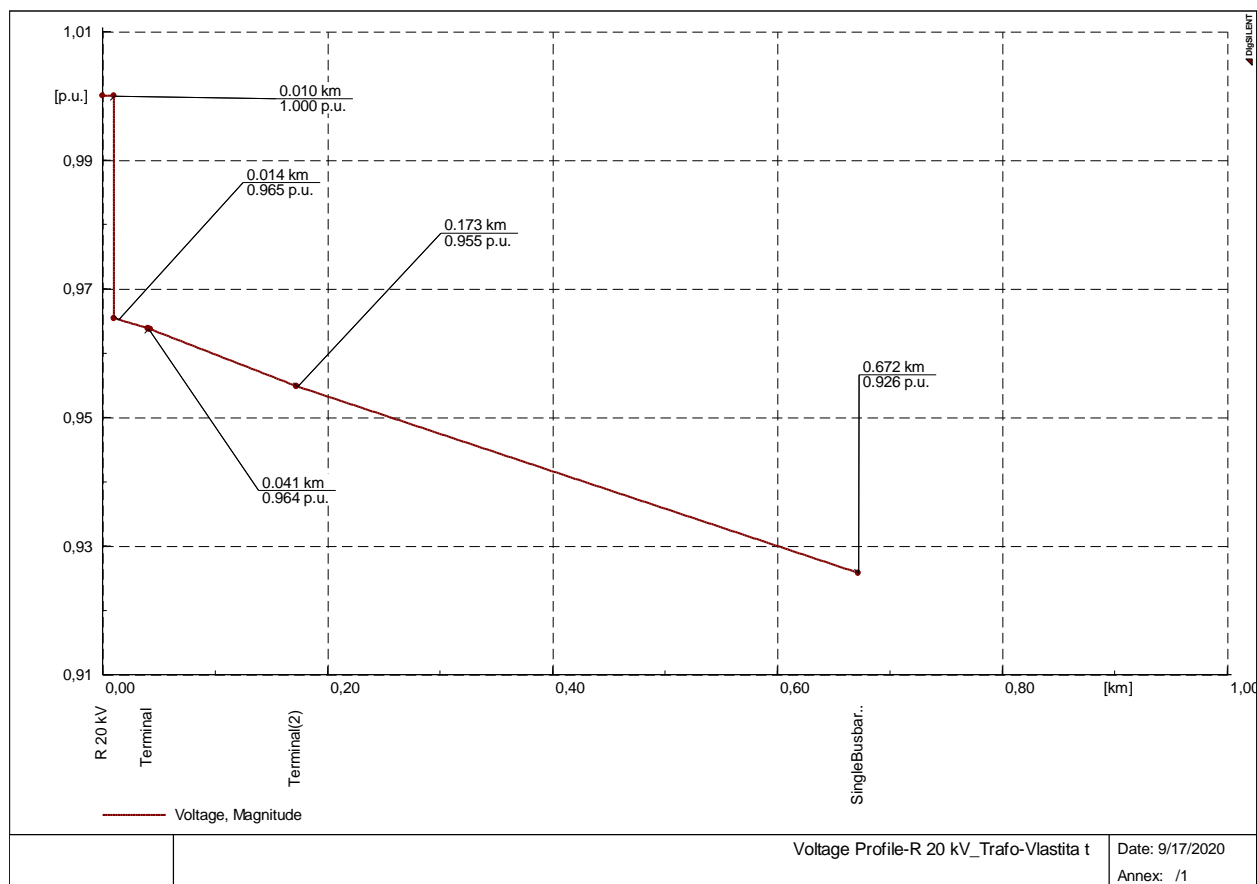
Rad kao i u sedmom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (DG79) snage 8.5 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -19,31 kW   |
| Jalova snaga   | -50,1 kvar  |
| Gubici         | 2,67 kW     |

**Tablica 5.36.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada osam motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 199,75             | 144,16               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 38,61              | 100,19               |
| Gubici u mreži                             | 11,14              | 13,5                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,36          |                      |

**Tablica 5.37.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada osam motora.



**Slika 5.25.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada osam motora.

## 9. Slučaj

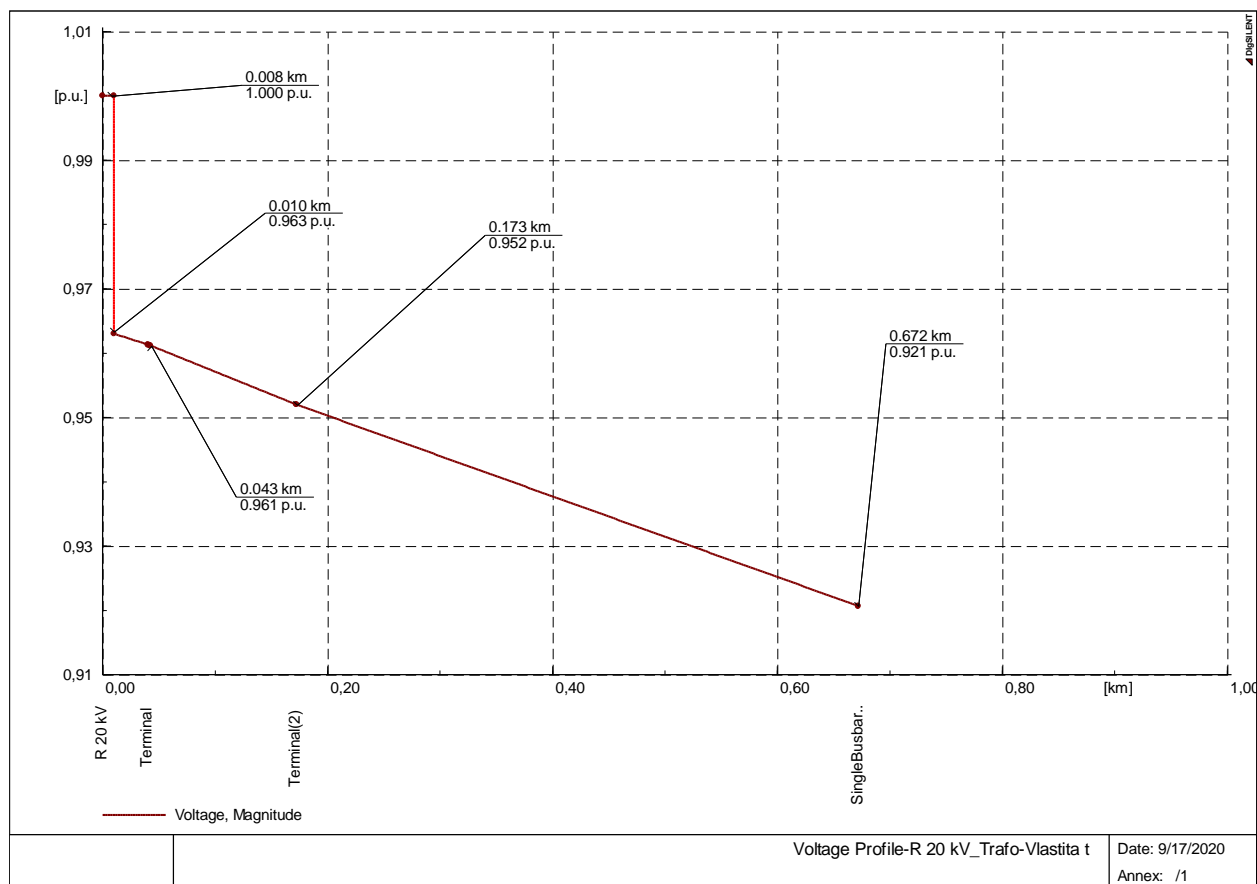
Rad kao i u osmom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (GLS192) snage 1.5 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -20,06 kW   |
| Jalova snaga   | -55,69 kvar |
| Gubici         | 3,28 kW     |

Tablica 5.38. Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada devet motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 202,87             | 156,72               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 40,11              | 111,39               |
| Gubici u mreži                             | 12,76              | 14,88                |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,34          |                      |

Tablica 5.39. Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada devet motora .



Slika 5.26. Naponski profil izvoda mreže prilikom rada devet motora.

## 10. Slučaj

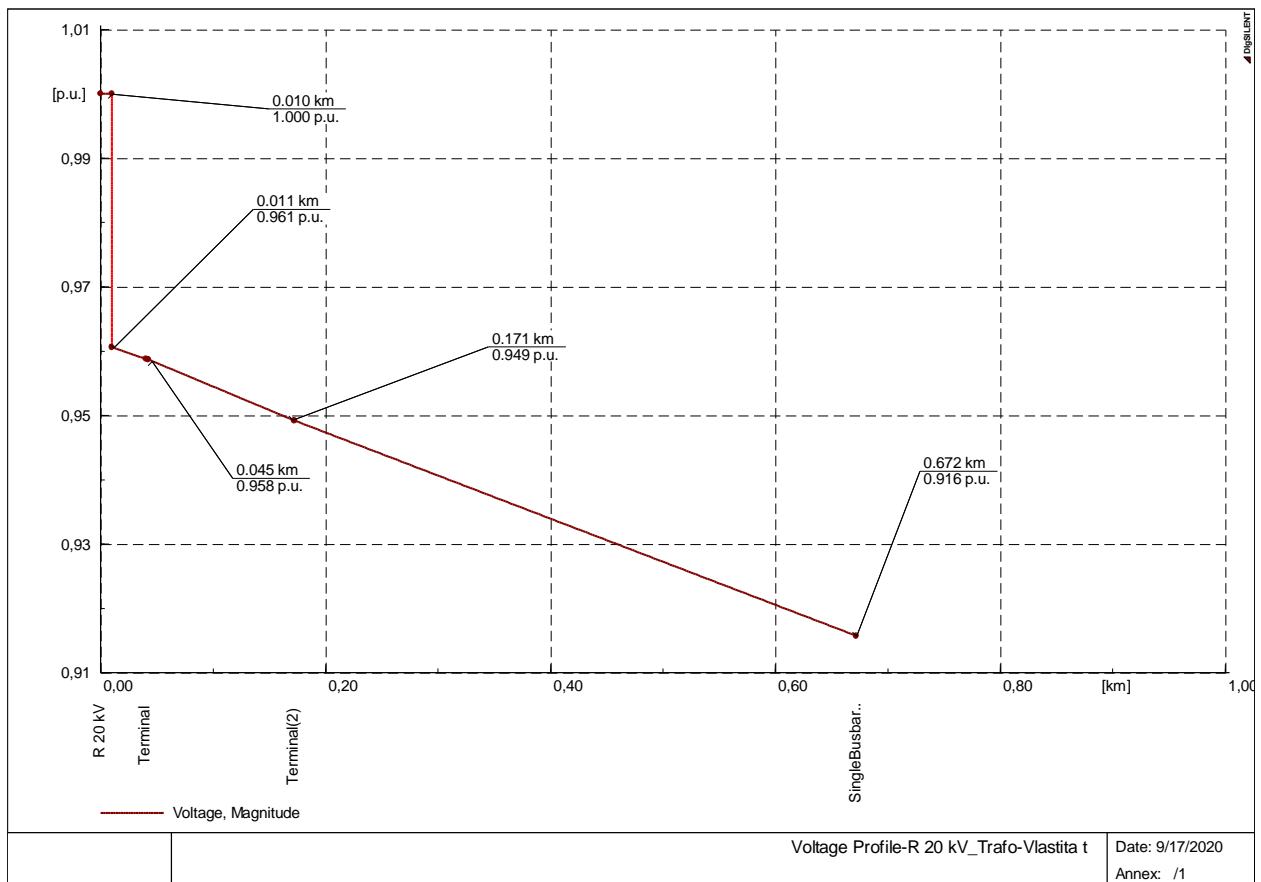
Rad kao i u devetom slučaju samo se dodaje asinkroni motor (RDM250F) snage 1 kW.

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -20,55 kW   |
| Jalova snaga   | -61,19 kvar |
| Gubici         | 3,94 kW     |

**Tablica 5.40.** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada deset motora na jednomvodu.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 205,6              | 169,14               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 41,11              | 122,38               |
| Gubici u mreži                             | 14,49              | 16,3                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,4                 |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,32          |                      |

**Tablica 5.41.** Prikaz vrijednosti u mreži prilikom rada deset motora.

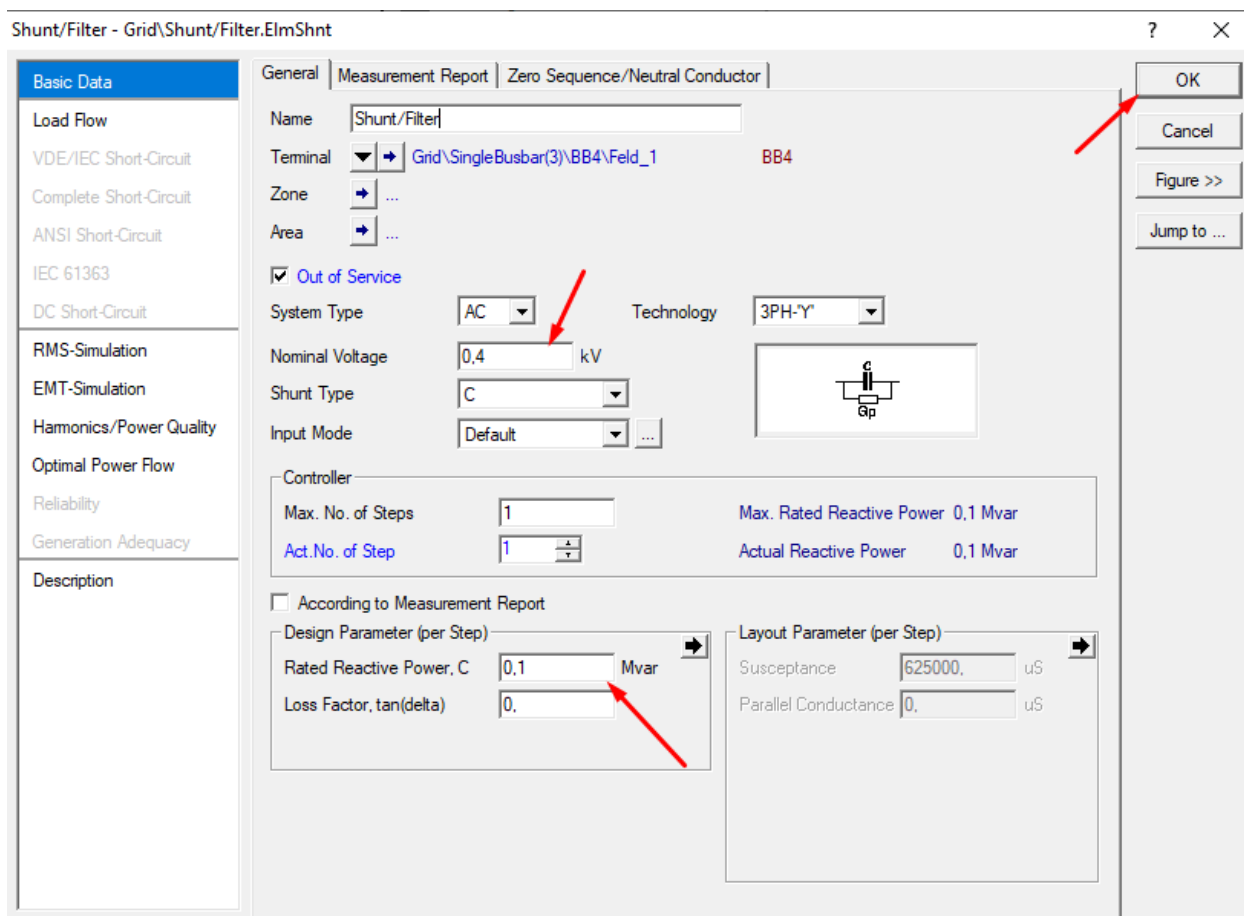


**Slika 5.27.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada deset motora

### 3. Treći način rada

Dodavanje kompenzacijske baterije

Na distribucijsku mrežu koja je povezana pomoću jednog voda duljine 0.5 km s malim industrijskim postrojenjem dodaje se kompenzacijska baterija snage 0.1 Mvar s nazivnim naponom 0.4 kV. Dodaje se kompenzacijska baterija kako bi smanjili velike jalove gubitke koje idu do 113,36 kW kao što je vidljivo iz tablice 5.20.



**Slika 5.28.** Prikaz dodavanja vrijednosti kompenzacijskoj bateriji.

Nakon dodavanja kompenzacijske baterije pritišće se gumb „Calculate Load Flow“ za pokretanje simulacije i dobivanje rezultata.

Slučaj kada su svi motori uključeni u malom industrijskom postrojenju te je dodana kompenzacijska baterija.

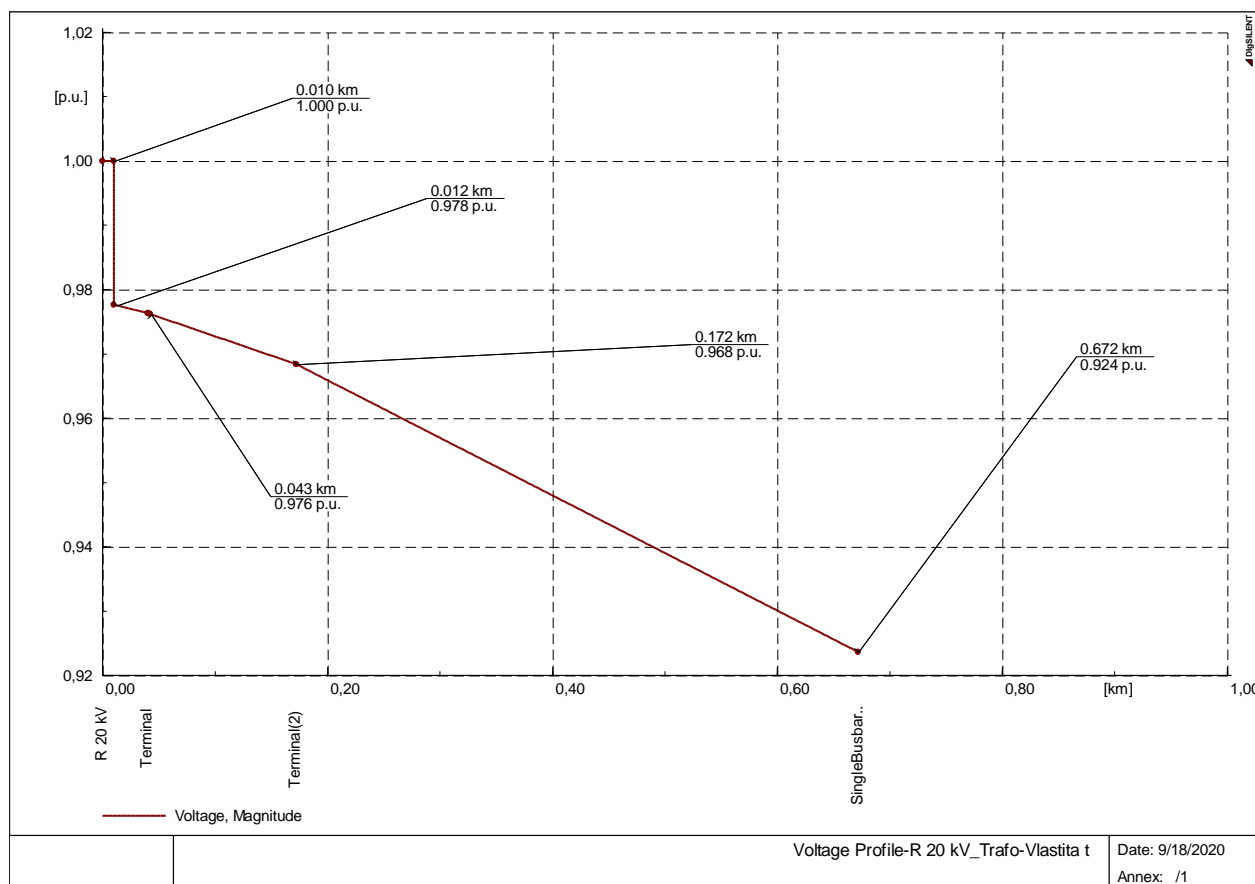
## 5. SIMULACIJA I ANALIZA MALOG INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA

| Oznake         | Vrijednosti |
|----------------|-------------|
| Djelatna snaga | -41,11 kW   |
| Jalova snaga   | -39,16 kvar |
| Struja         | 0,09 A      |
| Gubici         | 3 kW        |

**Tablica 5.42** Prikaz instalirane snage motora u postrojenju prilikom rada svih motora na jednom vodu s kompenzacijskom baterijom.

|  | Vrijednosti u [kW] | Vrijednosti u [kvar] |
|--|--------------------|----------------------|
| Vanjski dotok snage                        | 198,74             | 169,14               |
| Opterećenje mreže P(U)                     | 150                | 30,46                |
| Opterećenje mreže pri nazivnoj snazi P(Un) | 150                | 30,46                |
| Snaga motora                               | 41,11              | 124,47               |
| Gubici u mreži                             | 7,63               | 9,81                 |
| Faktor snage proizvodnje el.energije       |                    | -0,39                |
| Faktor snage opterećenja: mreže/motora     | 0,98/0,31          |                      |

**Tablica 5.43.** Rezultati u mreži prilikom rada deset motora s kompenzacijskom baterijom.



**Slika 5.29.** Naponski profil izvoda mreže prilikom rada deset motora s kompenzacijskom baterijom.

## 6. ZAKLJUČAK

---

Ima raznih gubitaka u malom industrijskom postrojenju kao što su gubici u vodovima, strojevima i na transformatorima. Gubici su uzrokovani raznim čimbenicima kao što su materijal, duljina elemenata, naponom i strujom, itd.

Gubici u malom industrijskom postrojenju su neizbježni samo ih možemo smanjiti do granice koja je određenom postrojenju prihvatljivo.

Iz grafičkih prikaza rezultata simulacija u DIgSILENT programu zorno je vidljivo da se prilikom povećanja broja motora koji rade u postrojenju, povećavaju i gubici u postrojenju kao i u distributivnoj mreži. Prilikom ubacivanja dodatnog paralelnog voda u malo industrijsko postrojenje uočavamo smanjenje gubitaka i smanjenje jalovih gubitaka.

Najbolje i najefikasnije rješenje smanjenje gubitaka je ubacivanje kompenzacijske baterije koja smanjuje jalove gubitke na minimum, te je ujedno i najjeftinije rješenje jer dodatni vod iziskuje velike troškove pri instalaciji i kupnji materijala.

Ovaj završni rad jasno opisuje temelje gubitaka u nekom industrijskom postrojenju. Prilikom otvaranje nekog industrijskog postrojenja važno je znati primjenjiti znanje o smanjenju gubitaka, te kako testirati. S tim znanjem se mogu smanjiti troškovi kako bi industrijsko postrojenje moglo poslovati efikasnije. Program DIgSILENT pruža korisnicima velike mogućnosti izrade modela, simulacija, grafičkih prikaza te dijagram

## SAŽETAK

---

U ovom radu se opisuje analiza gubitaka u malom industrijskom postrojenju koja ima bitan utjecaj u efikasnosti postrojenja te u smanjenju troškova. Opisivalo se vrste gubitaka te kako određeni materijali i pojave utječu na gubitke u strojevima, vodovima pa tako i postrojenju. Analizu i simulaciju smo proveli u programu zvanom DIgSILENT-u, gdje se uključivalo i isključivalo određeni broj strojeva te dodavali dodatni vodovi kao i komenzacijska baterija, kako bi se uočili gubici u postrojenju, te kako određeni faktori utječu na količinu gubitaka. Cilj je bio uvidjeti kako različiti čimbenici utječu na gubitke te kako ih možemo smanjiti. Uz to se vidjelo kako se naponski iznosi mijenjaju s duljinom voda.

Ključne riječi: Električni vodovi, transformatori, asinkroni motori, sinkroni motori, gubici, električna snaga, Elektroenergetski sustav.

## SUMMARY

This paper describes the power losses in a small industrial plant which have a significant impact in the efficiency of the plant and the reduction of the costs. We described every kind of loss and how certain materials and phenomenon impact losses in machines, power lines and plants. The simulation and analysis were performed in the program DIgSILENT-u, where a certain number of machines are added and switched off which are added to the additional lines as well as the compensation battery, in order to notice losses in the plant, and how certain factors affect the amount of losses. Our goal was to determine how different factors affect the power losses and how we can reduce them. We also determined how the voltage changes depending on the length of the power line.

Keywords: Electrical wiring, transformer, asynchronous motor, synchronous motor, losses, electric power, electrical grid.

**LITERATURA**

---

- [1] Sandra Hutter, Lahorko Wagmann, Srđan Žutobradić, Mladen Žunec, Napredni pristup smanjivanju gubitaka u dristribucijskoj mreži,2018
- [2] Električni vodovi,url: (8.9.2020)  
[https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektricni\\_vodovi.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektricni_vodovi.pdf)
- [3] Lajos Józsa – Parametri nadzemnih vodova, Osijek, 2006.
- [4]Diplomski rad/analiza gubitaka u viskonaponskoj prijenosnoj mreži, url: (6.8.2020)  
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1065/preview>
- [5] B. Mitraković; Transformatori, Naučna knjiga,. Beograd, 1985.
- [6] Leonardo Štrac ,Modeliranje elektromagnetskih svojstava čelika za proračun dodatnih gubitaka u energetske transformatorima, Zagreb, 2010.
- [7] Elektrotehnički materijali tehnologija, magnetski materijali, 1997.  
[https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektrotehnicki\\_materijali.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektrotehnicki_materijali.pdf) (5.9.2020)
- [8] <https://www.automatika.rs/baza-znanja/tutorijali/vrtlozne-ili-vihorne-struje.html> (5.9.2020)
- [9]Rasipni induktivitet transformatora,Završni rad,Kristijan Čvek
- [10] Dolenc, Anton. Transformatori I. i II. dio, Zagreb: Sveučilišna naklada, 1991.
- [11] Dr. sc. Dubravko Vučetić ,Brodski električni uređaji sustavi,Rijeka, 2015.
- [12] Ivan Mandić, Veselko Tomljenović, Milica Pužar, Sinkroni i asinkroni električni strojevi,Zagreb, 2012.