

Tomislav Ivanović, dipl.ing.el.
HEP ODS d.o.o., Elektra Požega
tomislav.ivanovic@hep.hr

Jurica Larva, mag.ing.el.tech.inf.
HEP ODS d.o.o., Elektra Požega
jurica.larva@hep.hr

SMANJENJE TEHNIČKIH GUBITAKA PROMJENOM UKLOPNOG STANJA ZA NAPAJANJE TS 35/10 KV PLETERNICA

SAŽETAK

U referatu je obrađena tema promjene uklopnog stanja za napajanje TS 35/10 kV Pleternica u svrhu smanjenja tehničkih gubitaka, a ne narušavajući dosadašnje pokazatelje pouzdanosti. Kako se TS 35/10 kV Pleternica napaja preko zračnog dalekovoda TS Požega 2 – TS Brodsko Brdo i ima samo odcjep s glavne trase za napajanje iste, i taj odcjep se nalazi na prvoj trećini dalekovoda, bilo je potrebno u TS 35/10 kV Pleternica uvesti potrebnu automatiku u dolazna vodna polja 35 kV. Automatika je uvedena kako bi se što više smanjio utjecaj kvarova, odnosno zastoja na glavnoj trasi dalekovoda na konzum TS 35/10 kV Pleternica. U referatu su navedeni konkretni podatci za gubitke i pokazatelje pouzdanosti u prethodnom i sadašnjem uklopnom stanju.

Ključne riječi: tehnički gubitci, uklopno stanje, prekidi napajanja

REDUCING TECHNICAL LOSSES IN DISTRIBUTION LINES BASED ON SWITCHING DISTRIBUTION LINES FOR SUPPLYING SUBSTATION 35/10 KV PLETERNICA

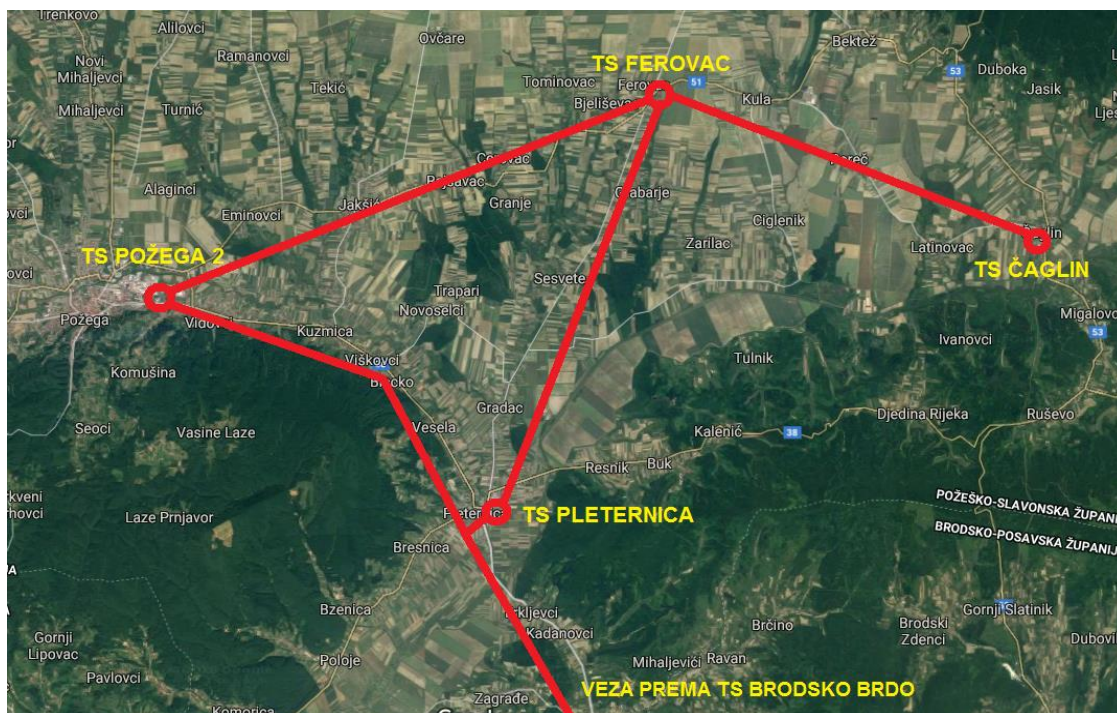
SUMMARY

The purpose of this paper is the analysis and reducing distribution lines losses based on switching distribution lines that supply substation 35/10 kV Pleternica. New state should not have an impact on current reliability indicators. Distribution lines that supply substation 35/10 kV Pleternica only have one exclusion on one-third of the length of the line, so it is necessary to upgrade incoming feeder (supply line of 35/10 kV Pleternica) with automation systems. Installed automation system should prevent and reduce number of faults that cause supply interruptions of substation 35/10 kV Pleternica. This paper contains exact calculations of losses before and after switching incoming feeder (distribution line that supply substation 35/10 kV Pleternica) and reliability indicators also in both states.

Key words: technical losses, switching state, supply failure

1. UVOD

Gubitci električne energije u distribucijskoj mreži mogu se podijeliti na tehničke i netehničke gubitke. U ovom radu značaj je dan tehničkim gubitcima i ostvarenju njihovog smanjivanja u SN mreži promjenom uklopnog stanja, i općenito smanjenjem duljine vodova za napajanje konzuma, a samim tim i gubitaka. Također je potrebno voditi računa da promjenom uklopnog stanja ne narušimo postojeće pokazatelje pouzdanosti mreže, kao i broj prekida u napajanju konzuma. Uporabom suvremenih sustava upravljanja i zaštite u elektroenergetskom sustavu moguće je prikupiti i obraditi veliki broj podataka iz kojih naknadno možemo analizirati postojeće stanje mreže, a samim time i uvidjeti mjesta na kojima su moguća poboljšanja. U nastavku na Slici br. 1 dan je prikaz geografskog smještaja transformatorskih stanica 35/10 kV i vodova 35 kV koji se dalje spominju u referatu.



Slika 1 – Geografski razmještaj transformatorskih stanica

2. IZRAČUN ENERGIJE GUBITAKA NA MODELU U PROGRAMSKOM PAKETU NEPLAN 360

2.1. Početno uklopno stanje

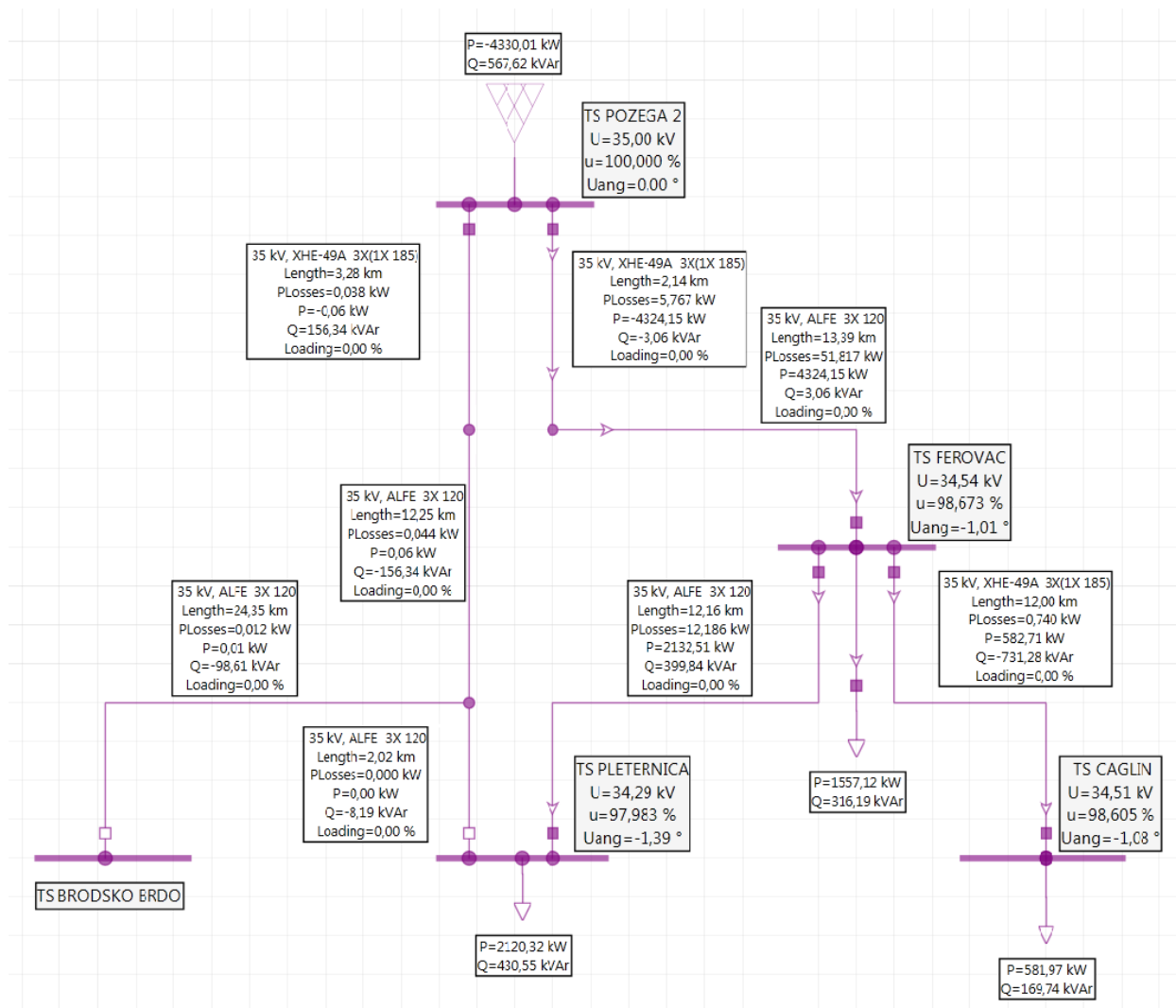
U početnom uklopnom stanju TS 35/10 kV Pleternica napajana je preko zračnog dalekovoda iz TS Ferovac 35/10 kV, a ona se također preko zračnog dalekovoda napaja iz TS 110/35/20(10) kV Požega 2. Ukupna duljina vodova za napajanje TS Pleternica u ovakvom uklopnom stanju iznosi oko 27 km. Ovakvo uklopno stanje djelomično je posljedica toga što je do nedavno uklopno stanje ZDV 35 kV Brodsko Brdo, koji služi za rezervno napajanje Elektre Požega i kao veza s Elektrom Slavonski Brod, određivala Elektra Slavonski Brod. Njegovo napajanje bilo je iz TS 35/10 kV Brodsko Brdo i samo po potrebi u dogovoru s Elektrom Slavonski Brod vod je uključivan, odnosno preko njega je napajan konzum TS Pleternica ili konzum grada Požege. U Tablici I. prikazane su duljine i presjeci vodiča za početno uklopno stanje.

Programskim paketom NEPLAN 360 napravljen je izračun gubitaka za početno uklopno stanje na osnovu podataka iz sustava za daljinsko vođenje. Za proračun je korištena srednja vrijednost struje, kroz vodove TS Požega 2 – TS Ferovac i TS Ferovac – TS Pleternica, za period od 1. srpnja 2016. do 31. prosinca 2016. Upravo ovaj period odabran je zbog mogućnosti kasnijeg uspoređivanja s podacima iz sustava za daljinsko vođenje u drugoj polovici 2017. godine, jer je planirani zahvat promjene uklopnog

stanja izveden u svibnju 2017. godine. Na Slici 2 prikazan je model mreže za početno uklopno stanje, a u Tablici II. prikazani su ulazni podaci za proračun kao i rezultati proračuna.

Tablica I. Duljine i presjeci vodiča u početnom uklopnom stanju

Vod	Tip vodiča	Duljina voda [km]	Presjek vodiča [mm ²]	Jedinični otpor [Ohm/km]
Požega 2 - Ferovac	XHE 49-A 3x(1x185) mm ²	2,14	185	0,176
	Al-Fe 3x120(20) mm ²	13,39	120	0,237
Ferovac - Pleternica	Al-Fe 3x120(20) mm ²	12,16	120	0,237



Slika 2 – Model mreže za početno uklopno stanje

Tablica II. Ulazni i izračunati podaci za početno uklopno stanje

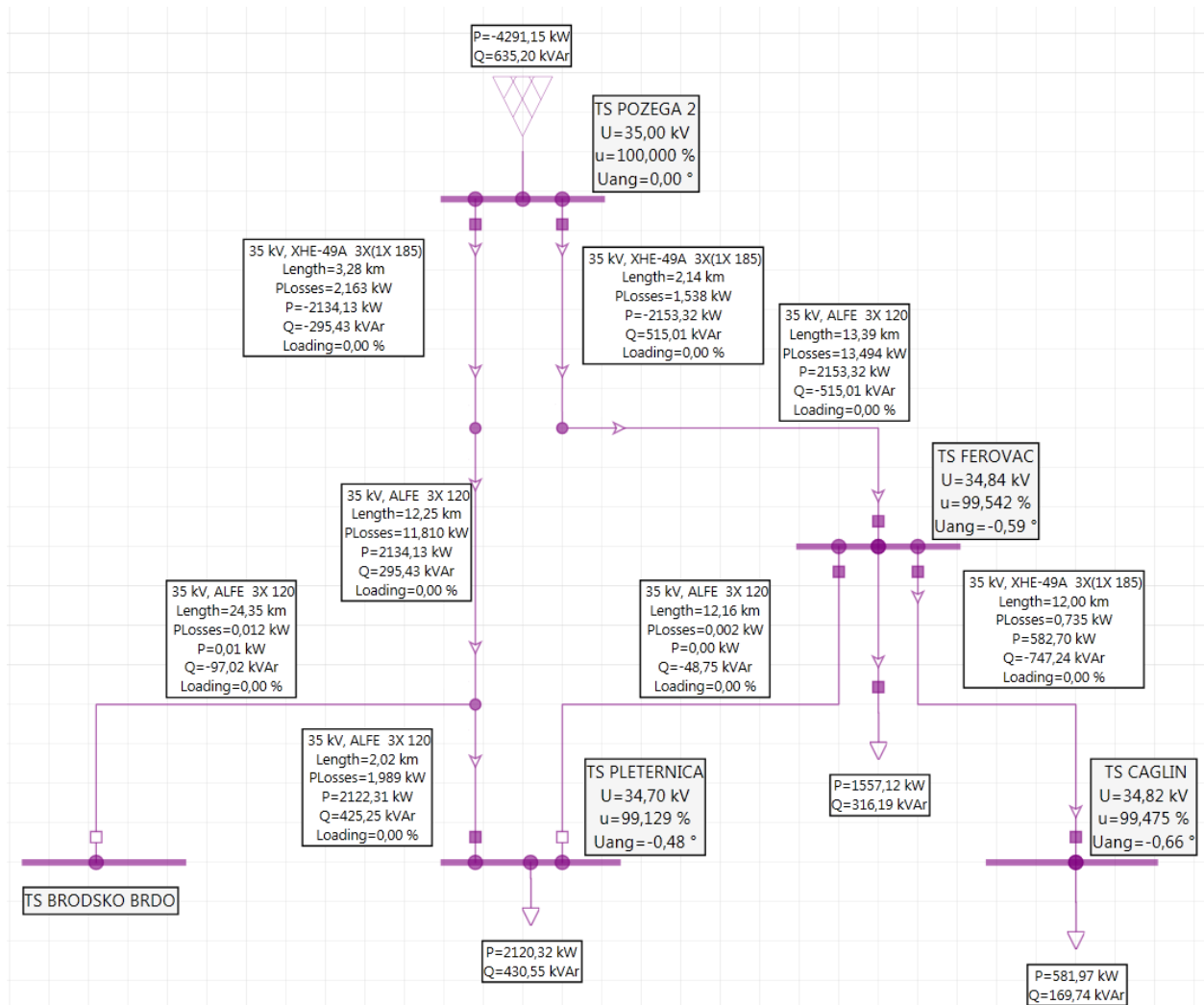
Vod	Srednja vrijednost struje[A]	Gubitci snage u vodu [kW]	Gubitci energije u vodu u promatranom periodu[kWh]
Požega 2 – Ferovac	71,90	57,57	254.229,00
Ferovac -Pleternica	35,69	12,18	53.786,00
UKUPNO		69,75	308.015,00

2.2. Konačno uklopno stanje

Za konačno uklopno stanje planirano je da se TS 35/10 kV Pleternica napaja izravno iz transformatorske stanice TS 110/35/20(10) kV Požega 2 preko zračnog dalekovoda ZDV Brodsko Brdo. U TS Pleternica prekidač u vodnom polju 35 kV Ferovac bit će otvoren. Time se rasterećuje ZDV Požega 2 – Ferovac, a po potrebi je moguće ostvariti napajanje TS Pleternica i preko tog voda, ako je vod Požega 2 – Brodsko Brdo neraspoloživ. U nastavku na Slici 3 slijedi prikaz modela mreže koji je napravljen prema ulaznim podacima za tip i presjek vodiča prema Tablici III. U Tablici IV. su ulazni i izračunati podatci nakon analize u programskom paketu NEPLAN 360.

Tablica III. Duljine i presjeci vodiča u konačnom uklopnom stanju

Vod	Tip vodiča	Duljina voda [km]	Presjek vodiča [mm ²]	Jedinični otpor [Ohm/km]
Požega 2 - Ferovac	XHE 49-A 3x(1x185) mm ²	2,14	185	0,176
	Al-Fe 3x120(20) mm ²	13,39	120	0,237
Požega 2 - B.Brdo	XHE 49-A 3x(1x185) mm ²	3,28	185	0,176
	Al-Fe 3x120(20) mm ²	14,30	120	0,237



Slika 3 – Model mreže za konačno uklopno stanje

Tablica IV. Ulazni i izračunati podatci za konačno uklopno stanje

Vod	srednja vrijednost struje[A]	Gubitci snage u vodu [kW]	Gubitci energije u vodu u promatranom periodu[kWh]
Požega 2 - Ferovac	36,21	15,02	66.328,32
Požega 2 - B.Brdo	35,69	15,98	70.567,68
UKUPNO		31,00	136.896,00

Iz prikazanog modela i tablice možemo zaključiti da su u ovom uklopnom stanju gubitci manji 2,25 puta, odnosno za 171.199,00 kWh u promatranom vremenskom periodu od 1. srpnja 2016. do 31. prosinca 2016., u odnosu na početno uklopno stanje.

3. IZRAČUN ENERGIJE GUBITAKA PRIJE I NAKON PROMJENE UKLOPNOG STANJA PREMA PODACIMA IZ SUSTAVA ZA VOĐENJE

3.1. Početno uklopno stanje

Na osnovu podataka iz sustava za daljinsko vođenje i 15(petnaest) minutnih srednjih vrijednosti struja, izračunati su gubitci energije za svaki 15 minutni interval za vodove kojima se napaja TS Pleternica. Za svaki mjesec je sumirana 15 minutna vrijednost gubitaka ovisno od broja dana u mjesecu. Promatrani period je od 1. srpnja 2016. do 31. prosinca 2016. Tablica V. prikazuje srednje vrijednosti struje i izračunate vrijednosti sume gubitaka po mjesecima i ukupno za promatrani period. Gubitci su računati prema formuli (1). Ovo je bio samo još jedan dokaz da je u prethodnom slučaju model mreže odgovarajući jer razlika koja je dobivena simulacijom u programskom paketu i ovako izračunatih podataka iznosi manje od 1%.

$$W_g = \sum_1^n 3 \cdot I^2 \cdot R_v \cdot l_v \quad (1)$$

gdje su:

- W_g – energija gubitaka [kWh]
- I – srednja vrijednost struje po fazi [A]
- R_v – Jedinični otpor vodiča [Ω /km]
- l_v – duljina vodiča [km]
- n – broj 15 minutnih intervala u mjesecu

Tablica V. Podatci za početno uklopno stanje

mjesec	Požega 2 - Ferovac		Ferovac -Pleternica	
	Struja [A]	Gubitci energije u vodu [kWh]	Struja [A]	Gubitci energije u vodu [kWh]
srpanj	67,90	38.442,46	34,18	7.859,41
kolovoz	68,61	38.940,18	33,66	7.598,71
rujan	72,19	41.926,79	35,24	8.163,85
listopad	72,30	44.629,28	35,16	8.771,14
studeni	72,38	42.939,63	36,81	9.037,66
prosinac	78,04	51.431,13	39,08	10.473,18
Gubitci ukupno po vodu [kWh]		258.309,46		51.903,95
Gubitci ukupno u promatranom periodu[kWh]		310.213,41		

3.2. Konačno uklopno stanje

U svibnju 2017. izvršena je stvarna promjena uklopnog stanja prema predloženom rješenju. Nakon promjene uklopnog stanja iz sustava daljinskog vođenja ponovno su uzeti podatci za izračun gubitaka, ali za period od 1. srpnja 2017. do 31. prosinca 2017. Rezultati izračuna su prikazani u Tablici VI., a izračun je napravljen prema formuli (1). U ovom slučaju razlika između energije gubitaka koja je dobivena simulacijom u programskom paketu i ručno izračunatih podataka prema formuli (1) je nešto veća (7,98%) jer je u modelu računato sa srednjom strujom koja je jednaka za početno i završno stanje, tj. istim opterećenjem, dok u praksi se pokazalo da se teret u promatranom periodu smanjio u odnosu na početno uklopno stanje, a samim time i struja koja utječe na gubitke energije.

Tablica VI. Podatci za konačno uklopno stanje

mjesec	Požega 2 - Ferovac		Požega 2 - B.Brdo	
	Struja [A]	Gubitci energije u vodu [kWh]	Struja [A]	Gubitci energije u vodu [kWh]
srpanj	37,17	12.502,05	27,61	8.002,56
kolovoz	35,70	10.731,94	31,70	9.389,93
rujan	38,40	11.859,67	32,00	9.267,18
listopad	38,52	12.316,59	33,08	10.260,61
studeni	36,19	10.590,14	32,06	9.403,96
prosinac	36,95	11.322,35	32,01	9.717,42
Gubitci ukupno po vodu [kWh]		69.322,74	56.041,67	
Gubitci ukupno [kWh]		125.364,41		

Prema izračunatim podacima gubitci u promatranom (polugodišnjem) periodu u 2017. godini manji su 2,47 puta, odnosno za 184.867,00 kWh u odnosu na promatrani period iz 2016. U usporedbi s gubitcima energije koja je dobivena iz modela u programu NEPLAN 360, ova energija je veća za 13.668,00 kWh (7,98%), odnosno uštede su veće od onih dobivenih simulacijom.

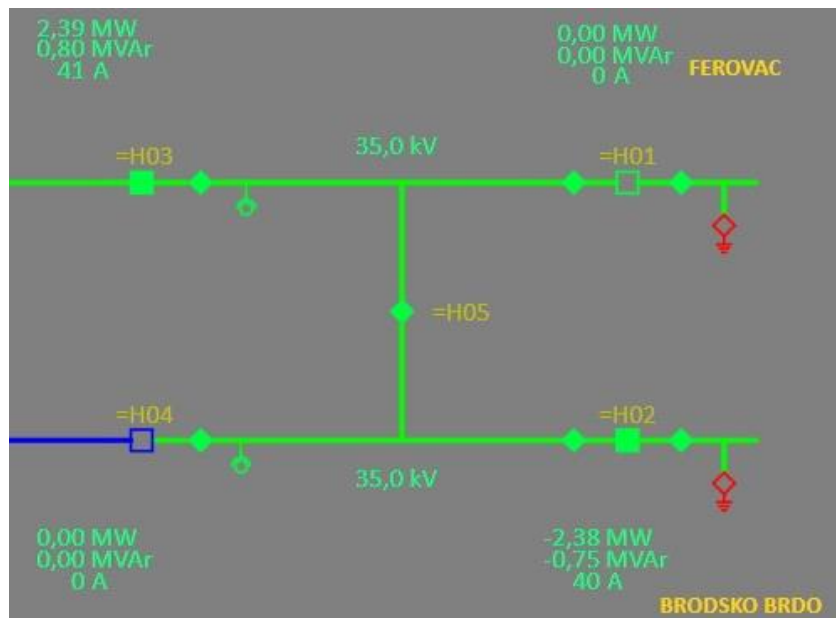
4. PREKLOPNA AUTOMATIKA

Smanjenje gubitaka promjenom uklopnog stanja ne smije utjecati na pouzdanost napajanja. Kako je u ovom konkretnom slučaju vod ZDV 35 kV Brodsko Brdo relativno velike duljine (cca. 40km), a odcjep za TS 35/10 kV Pleternica nalazi se na cca. šesnaestom kilometru glavne trase bilo koji prekid napajanja ili kvar na glavnoj trasi ZDV-a Brodsko Brdo ostavlja bez napajanja i cijeli konzum TS 35/10 kV Pleternica. Ovo je posebice bitno iz razloga jer ZDV 35 kV Brodsko Brdo od Pleternice pa prema TS 35/10 kV Brodsko Brdo prolazi kroz brdsko šumoviti dio gdje su prolazni kvarovi, a ponekad i trajni, relativno česti. Iz sustava daljinskog vođenja prikupljeni su podatci za ispade vodova Požega 2 – Brodsko Brdo, Požega 2 – Ferovac i Ferovac – Pleternica u periodu od 1. srpnja 2015. do 1. srpnja 2016. te došli do slijedećih podataka:

- DV 35 kV Požega 2 – Brodsko Brdo isključen je djelovanjem zaštite 14 puta (12 puta je brzi APU uspješno djelovao, jednom je vod ručno uključen nakon 2 minute, a jednom je vod uključen nakon popravka dva dana od ispada)
- DV 35 kV Požega 2 - Ferovac isključen je djelovanjem zaštite 4 puta (svaki put je brzi APU uspješno djelovao)
- DV 35 kV Ferovac - Pleternica isključen je djelovanjem zaštite 2 puta (jednom je vod uključen nakon 3 minute, a drugi put nakon 7 minuta)

Iz ovog je vidljivo da najveći broj djelovanja zaštite na vodu Požega 2 – Brodsko Brdo je prolaznog karaktera, a samo dva zastoja bila su neuspješna APU (brzi ili spori). Kako bi što više umanjili vrijeme prekida napajanja, nakon neuspješnog brzog APU-a u TS Pleternica, realizirana je „preklopna automatika“ s postojećim terminalima polja. Sekundarni sustavi upravljanja i zaštite u TS Pleternica rekonstruirani su 2008. godine i za zaštitu, mjerenje i upravljanje ugrađeni su terminali polja ALSTOM

(AREVA) P139. Ovaj tip terminala polja omogućava da se pomoću interne logike, mjerenih veličina i dodatnih uvjeta relativno jednostavno konfigurira automatika koja će u slučaju nestanka napajanja uključivati rezervni vod za napajanje transformatorske stanice. U terminalu polja na vodnom polju =H02 Brodsko Brdo u TS Pleternica konfigurirana je logika, koja prati napon na sabirnicama 35kV postrojenja preko naponskih mjernih transformatora i u slučaju nestanka 35 kV napona duljeg od 0,5 sekunde, a stanica je bila napajana preko voda Brodsko Brdo, automatika isključuje prekidač u polju =H02 Brodsko Brdo te uključuje prekidač u vodnom polju =H01 Ferovac. Uvjet za rad automatike je da su rastavljači u =H01 zatvoreni (sabirnički i vodni) i da nije bilo prorade bilo koje zaštite u terminalu polja na =H02 Brodsko Brdo. Vrijeme promatranja od 0,5 sekunde uzeto je iz razloga jer brzi APU na vodu Požega 2 – Brodsko Brdo ima beznaponsku pauzu od 0,3 sekunde. Tako da automatika neće prebaciti napajanje na rezervni vod, ako je na vodu Požega 2 – Brodsko Brdo bio uspješan APU, nego samo u slučaju kada je brzi APU bio neuspješan i slijedi spori APU (20 sekunda) ili je došlo do definitivnog isključenja voda Požega 2 – Brodsko Brdo. Da bi sve ovo uspješno radilo, i da se skрати vrijeme trajanja prekida napajanja, vod Ferovac – Pleternica potrebno je držati pod naponom na način da je neprekidno uključen prekidač na tom vodu u TS 35/10 kV Ferovac, a u TS Pleternica prekidač uključuje automatika po potrebi. Radi lakšeg razumijevanja na Slici 4 je prikazana pojednostavljena shema 35 kV postrojenja u TS 35/10 kV Pleternica, koja je u stvari ekranski prikaz 35kV dijela TS 35/10 kV Pleternica iz sustava za vođenje Proza NET . Na slici je vidljivo cijelo 35 kV postrojenje transformatorske stanice gdje su polja =H01 i =H02 vodna polja 35kV, =H03 i =H04 transformatorska polja 35 kV i =H05 polje sekcijskog rastavljača.



Slika 4 – Pojednostavljena shema 35kV postrojenja u TS 35/10 kV Pleternica

5. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme sve više pažnje posvećuje se gubitcima električne energije u prijenosnoj i distribucijskoj mreži. Ovim radom prikazano je kako je moguće uz minimalni napor i ulaganja smanjiti tehničke gubitke u sredjenaponskoj mreži promjenom uklopnog stanja. Ovakvi zahvati u mreži mogući su ondje gdje postoji više mogućnosti napajanja (prstenaste mreže) dok je kod radijalnih mreža potrebno, za smanjenje tehničkih gubitaka, rekonstruirati vodove, povećavati presjek vodiča ili prijeći na višu naponsku razinu. Svi ovi navedeni zahvati zahtijevaju puno veća ulaganja, dok promjena uklopnog stanja ne zahtijeva gotovo nikakva dodatna ulaganja. Korištenjem namjenskih računalnih programa moguće je modelirati dio mreže, ili cijelu mrežu, te uvidjeti na kojim mjestima su moguća poboljšanja. Tako se i u ovom slučaju pokazalo da programski model gotovo u potpunosti odgovara stvarnom stanju, koje je dobiveno nakon promjene uklopnog stanja.

6. LITERATURA

- [1] NEPLAN, Load Flow Calculation in NEPLAN, NEPLAN AG, 2016.
- [2] AREVA, MiCOM P139 Feeder Management and Bay Control, AREVA, 2006.