

Jurica Larva  
HEP ODS Elektra Požega  
[jurica.larva@hep.hr](mailto:jurica.larva@hep.hr)

## MJERE ZA SMANJENJE TEHNIČKIH GUBITAKA U SREDNENAPONSKOJ MREŽI ELEKTRE POŽEGA

### SAŽETAK

Gubici u elektroenergetskom sustavu jedan su od ključnih čimbenika koji ukazuju na stupanj ekonomičnosti poslovanja i kvalitetu obavljanja djelatnosti distribucije električne energije. Iz tog razloga, smanjenje gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži postalo je jedan od prioritetnih poslovnih ciljeva HEP ODS-a.

S ciljem smanjenja tehničkih gubitaka Elektre Požega prikupljeni su podaci o topologiji mreže, tipu i duljinama dalekovoda, transformatorima u mreži, potrošnji pojedinih 10/0,4 kV trafostanica i mjerenjima iz SCADA sustava. Koristeći navedeno kreiran je model u programskom okruženju NEPLAN, izračunati su gubici električne energije u 35 i 10 kV dalekovodima te 35/10 kV i 10/0,4 kV transformatorima. Također, predložene su mjere kako smanjiti gubitke u navedenim elementima. Predložena je promjena uklopnog stanja u 35 kV mreži, sugerira se promjena načina rada transformatora u dvije 35/10 kV trafostanice, dan je prijedlog za sedam izmjena uklopnog stanja u 10 kV mreži, a kreiran je i plan zamjene i nabavke novih 10/0,4 kV transformatora.

**Ključne riječi:** Gubici električne energije, promjena uklopnog stanja, tehnički gubici, modeliranje 35 i 10 kV mreže, izračun gubitaka u transformatorima

## MEASURES FOR REDUCING TECHNICAL LOSSES IN 35 KV AND 10 KV DISTRIBUTION NETWORK OF ELEKTRA POŽEGA

### SUMMARY

Losses of electrical energy are one of the key indicators of business efficiency and performance quality of electrical distribution system. For that purpose, reduction of electrical energy losses in distribution system became one of the priority business goals in HEP ODS.

In order to reduce the technical losses of Elektra Požega, network topology data were collected, as well as types and lengths of the transmission lines, data about transformers, electrical energy consumptions of individual 10/0,4 kV substations and measurements from SCADA system. By using collected data, a model was created in NEPLAN software environment, electrical energy losses were calculated in 35 kV and 10 kV transmission lines, as well as in 35/10 kV and 10/0,4 kV transformers. Measures are proposed in order to reduce losses in the said elements. Paper proposes change of switching state in the 35 kV and 10 kV network, suggests changes in work of transformers in two 35/10 kV substations and creates plan of replacement and purchase of new 10 / 0.4 kV transformers.

**Key words:** Electrical energy losses, technical losses, model of distribution network, calculation of losses in transformers

## **1. UVOD**

Problematika gubitaka u distribucijskim mrežama uvijek je vrlo aktualna, a pogotovo pitanje realnog utvrđivanja iznosa tehničkih gubitaka. Gubici snage i energije u mreži postaju sve aktualniji i važniji obzirom na restrukturiranje i uvođenje tržišnih odnosa u hrvatskom elektroprivrednom sektoru. Svaki operator mreže pa tako i HEP Operator distribucijskog sustava (ODS), pitanju gubitaka električne energije posvećuje posebnu pozornost, a naročito u slučaju kada gubici nisu na zadovoljavajućoj razini. Gubici u elektroenergetskom sustavu jedan su od ključnih čimbenika koji ukazuju na stupanj ekonomičnosti poslovanja i kvalitetu obavljanja djelatnosti distribucije električne energije. Iz tog razloga, smanjenje gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži postalo je jedan od prioritarnih poslovnih ciljeva HEP ODS-a. Smanjenjem gubitaka pospješuje se rad elektroenergetskog sustava, povećava ekonomičnost poslovanja, a u konačnici i smanjuje onečišćenje okoliša.

U radu je obrađena tema tehničkih gubitaka u srednjenaponskoj mreži. Ukratko su objašnjeni osnovni problemi tehničkih gubitaka u sustavu s naglaskom na gubitke u transformatorima i vodičima. Za potrebe izrade rada prikupljeni su podaci o transformatorima i podaci o potrošnji svih kupaca u 2017. godini na područja DP-a Elektra Požega. Također, prikupljeni su podaci o svim elementima mreže te je izrađen model cjelokupne SN mreže u NEPLAN-u. Izračunati su gubici na području Elektre Požega u 35 i 10 kV mreži te 35/10 kV i 10/0,4 kV transformatorima. Izvršena je analiza dobivenih rezultata i dan je prijedlog promjene uklopnog stanja 35 i 10 kV mreže, načina rada 35/10 kV transformatora, kao i prijedlog zamjene 10/0,4 kV transformatora i kupnje novih uz procjenu troškova njihove nabave.

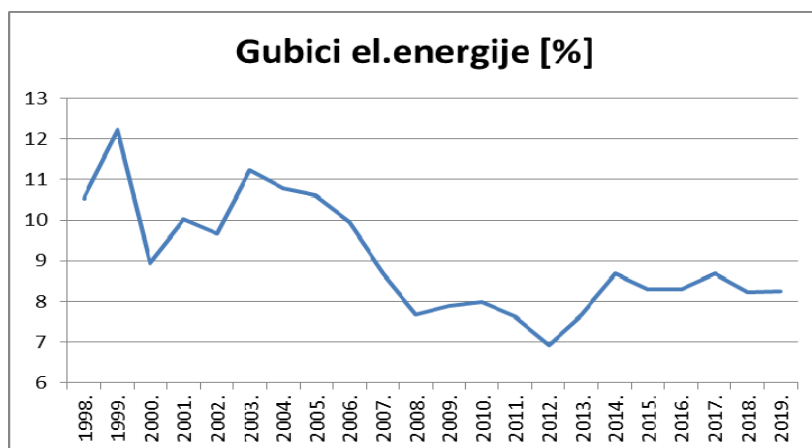
## **2. GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U ELEKTRI POŽEGA**

### **2.1. Gubici električne energije u distribucijskim mrežama**

Gubici električne energije u distribucijskoj djelatnosti odgovaraju razlici energije preuzete na pragu distribucijske mreže i energije prodane potrošačima. Obzirom na uzroke nastanka, mogu se podijeliti u dvije osnovne grupe: tehničke gubitke (zagrijavanje vodiča, magnetiziranje transformatora, nesavršenost izolacije, i sl.) i gubitke radi nenaplaćene potrošnje (netehničke gubitke). Tehničke gubitke moguće je izračunati i kontrolirati, uz uvjet osiguranja poznatih iznosa opterećenja elektroenergetskog sustava. Uzroci netehničkih gubitaka su različiti: pogrešno mjerenje potrošnje energije radi neispravnosti brojila, netočno očitavanje brojila, neovlaštena i neregistrirana potrošnja električne energije i snage, uvrštavanje vlastite potrošnje distribucijske djelatnosti u gubitke (odnosno izostanak obračuna vlastite potrošnje), neadekvatan obračun akontacijske naplate potrošnje itd.

### **2.2. Utvrđivanje gubitaka za Elektru Požega**

Od 1997. do 2003. postotni gubici električne energije u Elektri Požega opadaju i rastu, a počevši s 2003. kontinuirano se smanjuju. U razdoblju 1997.-2008. moguće je primijetiti trend opadanja gubitaka i to u razdoblju 1997.-2003. od -1,8 % (uz pretpostavku linearnog trenda), a u razdoblju 2003.-2008. od -7 % (uz pretpostavku linearnog trenda). Od 2009. do 2013. godine trend opadanja gubitaka se zaustavio te se oni održavaju na konstantnoj razini na nešto manje od 8% ukupne energije nabavljene iz prijenosne mreže i elektrana u distribucijskoj mreži. Od 2014. godine relativni gubici su porasli za oko 1% što je rezultat znatnog smanjenja nabave i prodaje električne energije prelaskom najvećeg kupca iz DP-a Elektre Požega (Plamen d.o.o.) u mrežu HOPS-a na 110 kV naponsku razinu (Slika 1). Istovremeno apsolutni gubici nisu se promijenili jer je do 2014. godine navedeni kupac uzimao energiju gotovo bez gubitaka s 35 kV sabirnica trafostanice 110/35/10 kV Požega-II, neposredno iza mjesta razgraničenja između HOPS-a i DP-a Elektra Požega.



Slika 1 Ostvareni gubici električne energije u DP Elektra Požega u razdoblju od 1997. do 2016. godine

U nastavku je dan pregled procjene tehničkih gubitaka u Distribucijskom području Elektra Požega koji je izrađen u sklopu rada *Stručna i znanstvena potpora u izradi metodologije za planiranje gubitaka električne energije i metodologije za izračun ostvarenja gubitaka te procjene tehničkih gubitaka i neovlašteno preuzete električne energije* iz 2016. godine [1] na Energetskom institutu Hrvoje Požar za potrebe Hrvatske elektroprivrede. Tablica 1 i Tablica 2 sadrže pregled tehničkih gubitaka za DP Elektra Požega i pojedine elemente njezine mreže. Autori navedenih studija procijenili su da tehnički gubici čine 58 % svih gubitaka električne energije (5,06 % od nabavljene el.energije), a netehnički 39 % (3,23 % nabave). Posebna kategorija je vlastita potrošnja zgrada i postrojenja HEP ODS-a koja iznosi 2,7 % svih gubitaka (0,22 % energije preuzete na pragu distribucijske mreže). Iz priloženih tablica vidljivo je da se najveći dio tehničkih gubitaka generira u transformatorima 10(20)/0,4 kV, potom u 10 kV vodovima. Bitno je također uočiti da oko 80% gubitaka energije u transformatorima 10/0,4 kV nastaje radi gubitaka u jezgrama transformatora, dakle, neovisno o razini opterećenja mreže.

Tablica 1 Tehnički gubici Elektre Požega - relativni gubici u odnosu na energiju na pragu distribucije

Vodovi 35kV [%]	TS 35/10 kV [%]			Vodovi 10kV [%]	TS 10/0,4 kV [%]			Vodovi NN, priključci [%]	Brojila i mjerna oprema [%]	Ukupno [%]
	u jezgri	u namotima	ukupno		u jezgri	u namotima	ukupno			
0,69	0,40	0,24	0,64	1,15	1,13	0,28	1,41	0,82	0,34	5,06

Tablica 2 Tehnički gubici Elektre Požega - udjeli gubitaka u pojedinim dijelovima mreže u tehničkim gubicima

Vodovi 35kV [%]	TS 35/10 kV [%]			Vodovi 10kV [%]	TS 10/0,4 kV [%]			Vodovi NN i priključci [%]	Brojila i mjerna oprema [%]	Ukupno [%]
	u jezgri	u namotima	ukupno		u jezgri	u namotima	ukupno			
14	8	5	13	23	22	6	28	16	7	100

### 3. GUBICI U 35/10 kV TRANSFORMATORIMA

Na području DP-a Elektra Požega nalazi se sedam 35/10 kV trafostanica. Svih sedam trafostanica u vlasništvu je Elektre Požega, a u njima se nalazi 14 transformatora (po 2 u svakoj trafostanici). Osim njih, jedan 35/10 kV transformator nalazi se u pričuvu na skladištu. Popis transformatora u pogonu i u rezervi nalazi se u Tablici 3. Posljednjih godina normalno uklopno stanje je takvo da u 35/10 kV trafostanicama Požega-II i Požega-I oba transformatora budu u pogonu, a u preostalim 35/10 kV trafostanicama u pogonu bude samo jedan od dva transformatora (jednom mjesečno se izmjenjuju). Iz SCADA sustava daljinskog vođenja Elektre Požega prikupljeni su podaci 15-minutnim prosječnim mjerenjima snage svih 35/10 kV transformatora. Mjerenja se odnose na razdoblje od 1. kolovoza 2018. godine u 00:00 sati do 31. srpnja 2019. u 24:00 sata. Gubici energije u transformatorima za svaku četvrt sata računati su prema formuli:

$$W_{gub} = (P_{Fe} + \alpha^2 P_{Cu}) \cdot 0,25 \quad (1)$$

pri čemu su:

$W_{gub}$  - gubici u transformatoru [kWh],

$P_{Fe}$  – gubici u željezu [kW],

$P_{Cu}$  – gubici u bakru [kW],

$\alpha$  – opterećenje transformatora.

Podaci o iznosima gubitaka u jezgrama transformatora i gubitaka u namotima transformatora prikupljeni su iz Končar tehničkog priručnika. Gubici su računati za svako 15-minutno razdoblje kroz godinu. Za svaki 35/10 kV transformator napravljeno je 35.040 izračuna prema formuli (1). Zbrajanjem svih dobivenih vrijednosti dobije se godišnji iznos gubitaka energije u 35/10 kV transformatorima (Tablica 3). Za 35/10 kV trafostanice Požega-II i Požega-I, u kojima uobičajeno istovremeno oba transformatora rade u paraleli, napravljen je i proračun gubitaka koji bi se generirali kada bi radio samo po jedan transformator. Za 35/10 kV trafostanice Velika, Orljava, Ferovac, Pleternica i Čaglin, u kojima uobičajeno radi samo po jedan transformator, izračunati su gubici u transformatorima za slučaj kada bi cijelu godinu radila oba transformatora u paralelnom radu (Tablica 3). Tablica 3 sadrži i izračun gubitaka za sve 35/10 kV trafostanice na području Elektre Požega za slučaj kad bi se transformatori uključivali u paralelni rad i isključivali iz njega na način da se optimiziraju gubici u transformatorima na najmanju moguću mjeru. To bi ponekada podrazumijevalo i po nekoliko sklopnih manipulacija u trafo poljima u istom danu.

Tablica 3 Gubici u 35/10 kV transformatorima

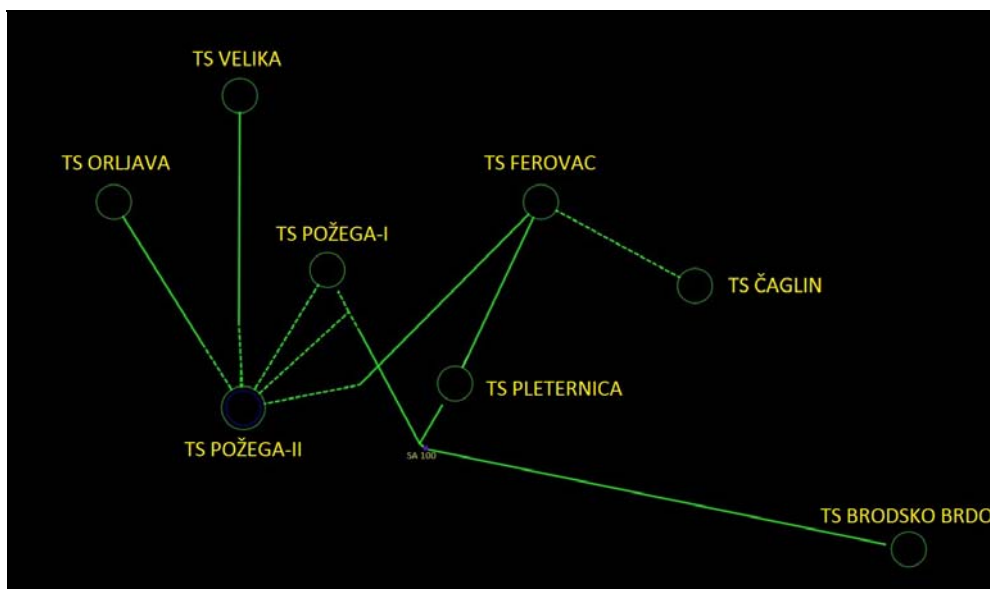
Naziv TS	Snaga transf. [kVA]	Godina proizvodnje	Prosječno opterećenje transf. [%]	Ostvareni gubici [kWh]	Gubici uz promjenu režima rada [kWh]	Gubici uz uključivanje/ isključivanje tranf. s ciljem minimiziranja gubitaka [kWh]
Požega-II	8000	1979	26,37	235.201	223.053	210.776
	8000	1978	25,80			
Požega-I	8000	1986	24,64	232.517	217.162	211.269
	8000	2002	28,10			
Velika	4000	1982	40,58	114.217	128.768	112.985
	4000	1982	43,31			
Orljava	2500	1992	32,51	54.981	73.578	54.951
	2500	1966	33,50			
Ferovac	4000	1967	42,61	107.922	125.833	106.724
	4000	1989	41,48			
Pleternica	4000	1979	46,03	119.347	131.931	117.198
	4000	1981	46,52			
Čaglin	2500	1975	16,82	39.646	69.744	39.646
	2500	1978	16,94			
Skladište	4000	1965	-	-	-	-

Tablica 3 prikazuje opravdanost rada po jednog transformatora u 35/10 kV trafostanicama Velika, Orljava, Ferovac, Pleternica i Čaglin. U navedenim trafostanicama gubici u transformatorima iznose 463.113 kWh u godini dana. Godišnje srednje opterećenje transformatora u navedenim trafostanicama kreće se od 16,82% do 46,52% što je znatno manje od opterećenja od 57% nakon kojeg bi bilo povoljnije uključiti i drugi transformator. Kada bi radila oba transformatora u navedenih 5 trafostanica gubici bi se godišnje povećali za 93.741 kWh. Kada bi pak kod opterećenja od otprilike 57% uključivali u rad drugi transformator, a za manje opterećenje ponovno prelazili na rad s jednim transformatorom, godišnje bi se gubici smanjili za 4.610 kWh u odnosu na postojeće stanje. Budući da bi to podrazumijevalo veći broj uključenja/isključenja prekidača, a donijelo vrlo malu korist u smanjenju gubitaka, takva odluka ne bila opravdana.

Tablica 3 prikazuje da godišnji gubitci u transformatorima u 35/10 kV trafostanicama Požega-I i Požega-II iznose 467.717 kWh. Ukoliko bi se prešlo na rad s jednim transformatorom, gubici bi se smanjili za 27.502 kWh. Ukoliko bi se pak transformatore redovito uvodilo u paralelni rad ili isključivalo iz njega s ciljem optimiziranja gubitaka, oni bi se smanjili za 45.672 kWh. Teoretski, moguće je postaviti upozorenja u SCADA sustavu koja bi upozorila dispečera da je opterećenje jednog transformatora poraslo iznad 59% te da je potrebno uključiti drugi transformator u rad, kao i upozorenje da se transformatorima u paraleli opterećenje smanjilo ispod 29,5% te da se isključi jedan transformator iz rada. Tako bi se postiglo najveće smanjenje gubitaka, ali pitanje je koliko bi porasli troškovi povećanog održavanja transformatorskih prekidača te napreznja transformatora pri ovim učestalijim ukapčanjima i iskapčanjima. Stoga se preporuča prelazak na rad s jednim transformatorom i u TS 35/10 kV Požega-II i Požega-I uz uvjet da se pri opterećenjima većim od 85% obavezno uključi drugi transformator kako ne bi došlo do preopterećenja. Opterećenje veće od 6,8 MVA (85% jednog transformatora) uobilježeno je samo 1,21% vremena u promatranom razdoblju, odnosno 106,25 sati u godini na TS 35/10 Požega-II i 0,05% vremena, odnosno 4,5 sati na TS Požega-1.

#### 4. GUBICI U 35 kV VODOVIMA

Slika 2 prikazuje 35 kV mrežu Elektre Požega.



Slika 2 35 kV mreža Elektre Požega

35 kV dalekovod Požega-II – Brodsko Brdo s vezama prema TS 35/10 kV Požega-I i TS 35/10 kV Pleternica nekoć je bio osnovni izvor napajanja konzuma Elektre Požega. U normalnom uklopnom stanju navedeni dalekovod u praznom je hodu i ne prenosi električnu energiju. Ovakvo uklopno stanje djelomično je posljedica toga što je do nedavno uklopno stanje 35 kV dalekovoda Požega-II - Brodsko Brdo 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. Posljednjih dvadesetak godina uklopno stanje određuje Elektra Požega, ali dalekovod prema Brodskom Brdu i dalje ostaje u praznom hodu te osim pričuvne funkcije nema drugu svrhu. Tako uobičajeno uklopno stanje podrazumijeva da se preko 35 kV dalekovoda Požega-II – Ferovac napaja TS 35/10 kV Ferovac, ali i TS 35/10 kV Pleternica (dodatno preko 35 kV DV Ferovac – Pleternica) i TS 35/10 kV Čaglin (dodatno prekod 35 kV Ferovac – Čaglin). Nameće se ideja da se TS 35/10 kV Pleternica napoji preko 35 kV DV Požega-II – Brodsko Brdo kako bi se umanjile struje koje teku kroz 35 kV dalekovod Požega-II – Ferovac i kako bi se skratila udaljenost kojom se pronosi električna energija do TS 35/10 kV Pleternica.

S ciljem smanjenja gubitaka u 35 kV dalekovodima programskim paketom NEPLAN napravljen je izračun gubitaka za početno uklopno stanje. Korišteni su podaci o dalekovodima (Tablica 5 1) prikupljeni iz DeGIS baze tehničkih podataka Elektre Požege. Iz sustava daljinskog vođenja Elektre Požege prikupljeni su podaci o mjerenjima potrošnje konzuma pojedinih 35/10 kV trafostanica u razdoblju od 1. kolovoza 2018. godine u 00:00 sati do 31. srpnja 2019. u 24:00 sata. Za proračun je korištena srednja vrijednost potrošnje konzuma 35/10 kV trafostanica odnosno srednja vrijednost struja koja teče kroz 35 kV dalekovode. Proračun sa srednjom (prosječnom) strujom kroz razdoblje od godinu dana unosi malu pogrešku u procjenu gubitaka. Koristeći podatke o svim 15-minutnim mjerenjima struja i snaga u 35/10 kV trafostanicama kroz razdoblje od godinu dana utvrđeno je da se korištenjem samo srednjeg opterećenja za izračun gubitaka u dalekovodima, dobiveni rezultat razlikuje do najviše 6% u odnosu na izračun dobiven korištenjem svih mogućih mjerenja. Budući da smisao ovoga rada nije što preciznije izračunati točan iznos gubitaka u dalekovodima, već detektirati gdje se oni u najvećoj mjeri generiraju i kako ih smanjiti te zbog nastojanja da izračun ne bude suviše kompliciran, dobivena pogreška smatra se prihvatljivom. Ipak, za ilustraciju, osim proračuna s prosječnom potrošnjom rađeni su i proračuni u trenucima minimalne i maksimalne potrošnje u sustavu.

Tablica 4 prikazuje rezultate proračuna za početno i optimizirano uklopno stanje. Vidljivo je da se pri početnom uklopnom stanju najviše gubitaka u 35 kV dalekovodima generira upravo u dalekovodu Požega-II – Ferovac. Promatrajući izračun srednje potrošnje vidljivo je da se kroz godinu dana u 35 dalekovodima Požega-II – Ferovac i Ferovac – Pleternica generira 578.467 kWh gubitaka, dok su gubici dalekovoda Požega-II – Brodsko Brdo zanemarivi. Rezultati proračuna za optimizirano uklopno stanje kod kojeg se TS 35/10 kV Pleternica napaja preko 35 kV dalekovoda Požega-II – Brodsko Brdo pokazuju da su gubici znatno manji, godišnje za čak 325.784 kWh, odnosno za 44,58 %.

Tablica 4 Gubici u 35 kV dalekovodima u početnom i optimiziranom uklopnom stanju

35 kV dalekovod	Duljina voda [km]	Početno uklopno stanje			Optimizirano uklopno stanje		
		Stuja [A]	Gubici snage [kW]	Godišnji gubici energije [kWh]	Stuja [A]	Gubici snage [kW]	Godišnji gubici energije [kWh]
Požega-II - Orljava	16,5	14	2,03	17.756,52	13,3	2,026	17.747,76
Požega-II - Ferovac	15,5	69,4	54,41	476.631,60	35,2	14,019	122.806,44
Požega-II - Požega-I	2,7	70,2	6,89	60.312,60	70,2	6,881	60.277,56
Ferovac - Pleternica	12,1	35,4	11,63	101.835,00	0,8	0,001	8,76
Požega-II - Brodsko Brdo	41,9	6,8	0,09	823,44	35,2	14,925	130.743,00
Požega-II - Velika	12,9	28,6	7,84	68.713,44	28,6	7,841	68.687,16
Ferovac - Čaglin	12,5	15,4	0,54	4.695,36	15,4	0,538	4.712,88
<b>Ukupno</b>	<b>114,1</b>		<b>83,42</b>	<b>730.767,96</b>		<b>46,231</b>	<b>404.983,56</b>

Smanjenje gubitaka promjenom uklopnog stanja ne smije utjecati na pouzdanost napajanja. Kako je u ovom konkretnom slučaju 35 kV dalekovod Požega-II - Brodsko Brdo relativno velike duljine (oko 40km), a odcjep za TS 35/10 kV Pleternica nalazi se na otprilike šesnaestom kilometru glavne trase, bilo koji prekid napajanja ili kvar na glavnoj trasi dalekovoda ostavlja bez napajanja i cijeli konzum TS 35/10 kV Pleternica. Ovo je posebice bitno iz razloga jer DV 35 kV Požega-II - 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. Kako bi što više umanjili vrijeme prekida napajanja, nakon neuspješnog brzog APU-a na 35 kV DV Brodsko Brdo, potrebno je ostvariti „preklopnu automatiku“ u TS Pleternica 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 35/10 kV Pleternica konfigurirat će se logika, koja prati napon na sabirnicama 35kV postrojenja preko naponskih mjernih transformatora i u slučaju nestanka 35 kV napona duljeg od 0,5 sekunde, dok se trafostanica napaja preko DV 35 kV Požega-II - Brodsko Brdo, automatika isključuje prekidač u polju =H02 Brodsko Brdo te uključuje prekidač u vodnom polju =H01 Ferovac. 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 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 35/10 kV Pleternica prekidač uključuje automatika po potrebi.

## 5. GUBICI U 10/0,4 kV TRANSFORMATORIMA

Na području DP-a Elektra Požega nalazi se 443 trafostanice 10/0,4 kV. Od toga je 394 trafostanica u vlasništvu Elektre Požega, a 49 u mješovitom ili tuđem vlasništvu U 394 vlastitih trafostanica nalazi se 392 transformatora. Za potrebe izračuna gubitaka u transformatoru, potrebno je prikupiti njihove osnovne podatke, ali i podatke o njihovom opterećenju, odnosno podatke o potrošnji električne energije po 10/0,4 kV trafostanicama. U DeGIS bazi podataka godinama su prikupljani podaci o nazivnoj snazi i tipu transformatora te godini proizvodnje i tvorničkom broju. Baza sadrži i kataloške podatke o gubicima praznog hoda i kratkog spoja iz čega je izračunato opterećenje transformatora pri kojem se ostvaruje najveća korisnost ( $\alpha_{max}$ ). Koristeći podatke o mjerenjima potrošnje svih mjernih mjesta i poznatoj topologiji mreže, dobiven je podatak o godišnjoj potrošnji svih mjernih mjesta na području jedne trafostanice, odnosno o prosječnom opterećenju transformatora. Iz navedenih podataka i mjerenjima iz SDV-a, izračunato je vršno opterećenje svih transformatora. Iz navedenih podataka izračunati su gubici električne energije svakog pojedinog transformatora. Gubici su računati sa srednjim opterećenjem kroz sve sate u godini. Za nekoliko trafostanica računati su gubici koristeći nadomjesne krivulje opterećenja te se dobiveni rezultat razlikovao do najviše 2% u odnosu na izračun dobiven korištenjem srednjeg opterećenja. Budući da smisao ovoga rada nije izračunati točan iznos gubitaka u transformatorima, već detektirati gdje se oni u najvećoj mjeri generiraju te zbog nastojanja da izračun ne bude suviše kompliciran dobivena pogreška smatra se prihvatljivom.

Tablica 5 prikazuje prikupljene i izračunate podatke za jedan od 392 transformatora u vlasništvu Elektre Požega.

Tablica 5 Podaci o transformatoru u KTS Požega-14

10/0,4 kV KTS Požega-14			
Instalirana snaga	400 kVA	Potrošnja u 2017. godini	301.557 kWh
Tip transformatora	3TNP 20-10,10/0.4,400,KONČAR	Srednje opterećenje	36,15 kVA
Godina proizvodnje	1968.	Vršno opterećenje	69,58 kVA
Tvornički broj	71842	Relativno srednje opterećenje	9,04 %
Inventarni broj	2823	Relativno vršno opterećenje	17,40 %
Gubici kratkog spoja	6.492 W	$\alpha_{maks}$	44,75 %
Gubici praznog hoda	1.300 W	Godišnji gubici u transformatoru	11.852,38 kWh

Na temelju prikupljenih podataka i provedenih proračuna, izrađeni su pregledni popisi transformatora ovisno o njihovom srednjem opterećenju, najvećim godišnjim gubicima energije, najvećem vršnom opterećenju i starosti. Velik broj transformatora nalazi se na više popisa što ukazuje potrebu za njihovom zamjenom na osnovu nekoliko kriterija.

261 transformator označen je kao slabo opterećen. Među takve transformatore ubrojani su oni kojima je prosječno opterećenje manje od 20 % nazivne snage ili su oni opterećeni do mjere da se ne

postizhe maksimalna korisnost transformatora (razlika je veća od 20%). Za 85 transformatora smatra se da generiraju velike godišnje gubitke. To je zaključeno prema tzv. kriteriju prioriteta zamjene transformatora koji je računat kao razlika gubitaka postojećeg i novog transformatora podijeljena s cijenom novog transformatora. 13 transformatora je preopterećeno (vršna snaga im doseže više od 90%), a 192 transformatora starija su od 40 godina.

Iz navedenog, zaključeno je kako je potrebno zamijeniti 268 transformatora. Pri tome nije potrebno nabavljati svih 268 novih transformatora, već se neki od postojećih transformatora mogu i dalje koristiti u drugim trafostanicama. 32 takva transformatora relativno su nova (mlađi od 1996. godine) i u dobrom su stanju, ali se nalaze u neodgovarajućoj trafostanici (predimenzionirani ili poddimenzionirani su). Njih je moguće koristiti u nekoj drugoj bolje odgovarajućoj trafostanici tako da za nju nije potrebno kupovati novi transformator. Troškovi nabave 236 nova transformatora iznose 7.346.900 kn. Zamjenom 268 transformatora s 32 vlastita i 236 novih, gubici u transformatorima predviđenim za zamjenu smanjit će se s 1.401.698 kWh na 684.555 kWh. Ukupni gubici u svim 10/0,4 kV transformatorima distribucijskog područja Elektra Požega ovakvom zamjenom smanjili bi se s 1.870.100 kWh na 1.152.957 kWh (Tablica 6). Posebno je zanimljivo promotriti udio gubitaka u jezgri i namotima prije i poslije zamjena. Prije zamjene transformatora četiri petine gubitaka otpadaju na gubitke u jezgri. Oni su neovisni o opterećenju i ovako velik udio upućuje na nisko opterećenje i predimenzioniranost transformatora. Predloženim zamjenama udio gubitaka u jezgri smanjio bi se gotovo 15% zbog dimenzioniranja transformatora prema stvarnoj potrošnji kupaca napajanih iz predmetne 10/0,4 kV trafostanice.

Tablica 6 Godišnje smanjenje gubitaka zamjenom 268 transformatora

Godišnji gubici u svim transformatorima prije zamjene [kWh]	1.870.100
Godišnji gubici u svim transformatorima nakon zamjene [kWh]	1.152.957
Godišnje smanjenje gubitaka [kWh]	717.143
Cijena novih transformatora [kn]	7.346.900

## 6. GUBICI U 10 kV VODOVIMA

Na području Elektre Požega nalazi se 594,3 km 10 kV dalekovoda raspodijeljenih na 43 vodna polja iz sedam 35/10 kV trafostanica. Uklopno stanje 10 kV mreže rezultat je povijesnog nasljeđa, određeno je prvenstveno uvažavajući naponske prilike u mreži, raspored sklopnih uređaja te izgradnjom i rekonstrukcijama trafostanica i dalekovoda kroz povijest. Posljednji put mreža je u manjoj mjeri optimirana 2010. godine u sklopu izrade *Studije razvoja SN mreže za razdoblje narednih 20 godina za distribucijsko područje Elektra Požega* na Energetskom institutu Hrvoje Požar. Ipak, kod određivanja uklopnog stanja po vodnim poljima nikad se nije previše vodila briga oko gubitaka električne energije niti se težilo stanju u kojem bi oni bili najmanji.

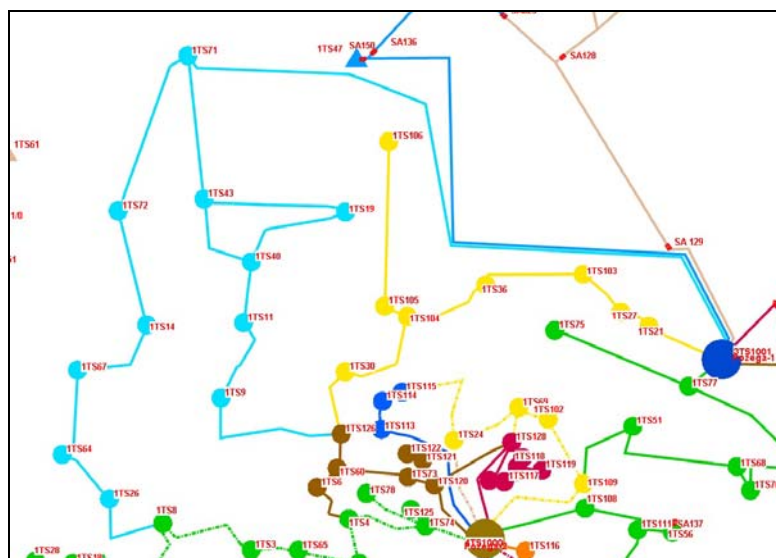
U tu svrhu, u programskom paketu NEPLAN izrađen je model cjelokupne 35 kV i 10 kV mreže koji sadrži sve 35/10 kV trafostanice međusobno povezane 35 kV dalekovodima, sve 10/0,4 kV trafostanice s pripadnim podacima o 10/0,4 kV transformatorima i potrošnji kupaca priključenih na njih, sve 10 kV dalekovode s podacima o tipu i presjeku vodiča, duljinama i topologiji te značajne distribuirane izvore priključene u mrežu. Projekt izrade modela trajao je nekoliko mjeseci, a najviše se oslanjao na DeGIS tehničku bazu podataka Elektre Požega u kojoj se nalazi kompletna topologija mreže, ali i tehnički podaci o svim važnim elementima. Podaci o potrošnji pojedinih 10/0,4 kV trafostanica prikupljeni su na način kako je to opisano u poglavlju 5 ovoga rada. Osnovni zadatak bio je izračunati gubitke u 10 kV dalekovodima pri minimalnoj, srednjoj (prosječnoj) i maksimalnoj potrošnji te uvidjeti može li se promjenom uklopnog stanja postići manji iznos gubitaka.

Ukupni godišnji gubici električne energije u 10 kV dalekovodima iznose gotovo 800.000 kWh. Primarna ideja je vidjeti može li se promjenom uklopnog stanja utjecati na smanjenje gubitaka. U tu svrhu dijelom je korišten proračun optimalnih točaka razdvajanja (*eng. Optimal separation point*), a većim dijelom proračun tokova snaga za velik broj kombinacija mogućih uklopnih stanja. Za povoljnu ocjenu pojedine kombinacije nije dovoljno samo smanjenje iznosa gubitaka, već se vodi briga i o naponskim prilikama pri maksimalnoj i minimalnoj potrošnji u sustavu, kao i o mogućim utjecajima na pouzdanost isporuke električne energije. Proračunom je otkriveno sedam kombinacija koje su ocjenjene kao povoljne,

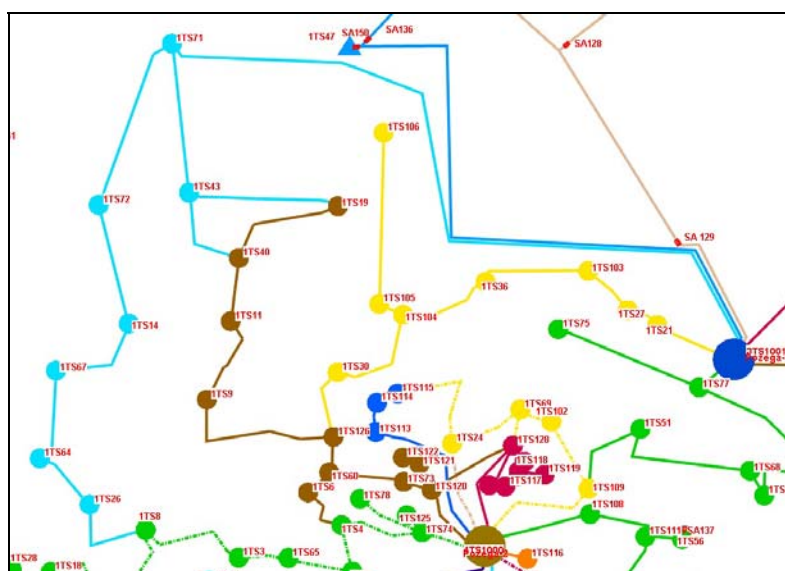


odnosno kod kojih je proračun pokazao značajnije smanjenje gubitaka. U nastavku je prikazana jedna takva mogućnost.

U početnom uklopnom stanju 10 kV dalekovod Veličanka napojen je iz TS 35/10 kV Požega-I i u svojoj ukupnoj duljini od 12.309 m napaja jedanaest 10/0,4 kV trafostanica (svijetloplava boja). 10 kV dalekovod Silos dug je ukupno 2.722 m i napaja sedam 10/0,4 kV trafostanica u požeškoj industrijskoj zoni (smeđa boja). Nakon optimizacije uklopnog stanja, 10/0,4 kV trafostanice Požega-19, Požega-40, Požega-11 i Požega-9 napojeni su preko 10 kV DV Silos. Prije optimizacije mjesto razdvajanja dva dalekovoda bilo je u TS 10/0,4 kV Požega-126 Konzum, a nakon optimizacije ona su u TS 10/0,4 kV Požega-19 i Požega-40. Ovim zahvatom godišnji gubici energije smanjit će se za 19.412 kWh. Slika 3 prikazuje početno, a Slika 4 konačno stanje napajanja 10 kV dalekovoda Silos i Veličanka.



Slika 3 Početno stanje napajanja 10 kV DV Veličanka – DV Silos



Slika 4 Optimirano stanje napajanja 10 kV DV Veličanka – DV Silos

Prema rezultatima proračuna prikazanim u Tablici 7 vidljivo je smanjenje gubitaka nakon provedenog optimiranja uklopnog stanja u 10 kV mreži. Gledajući gubitke i u 10 kV i u 35 kV mreži, gubici energije na godišnjoj razini smanjili su se za 88.204 kWh. U novom uklopnom stanju 10 kV mreže gubici u srednjenaponskim dalekovodima smanjili su se za 7,33%. Budući da pri tom nije potrebno provesti nikakva financijska ulaganja te da se navedenim zahvatima ni na koji način ne narušava sigurnost,

kvaliteta i pouzdanost napajanja kupaca, dobivene uštede smatraju se značajnima i preporučljivo ih je što prije provesti.

Tablica 7 Gubici u 35 kV i 10 kV dalekovodima nakon optimiziranja uklopnog stanja 10 kV mreže

Godišnji gubici u 10 kV dalekovodima prije optimiziranja uklopnog stanja [kWh]	798.587
Godišnji gubici u 35 kV dalekovodima prije optimiziranja uklopnog stanja [kWh]	404.983
Godišnji gubici u 10 kV dalekovodima poslije optimiziranja uklopnog stanja [kWh]	732.160
Godišnji gubici u 35 kV dalekovodima poslije optimiziranja uklopnog stanja [kWh]	383.206
Ukupne godišnje uštede [kWh]	88.204

## 7. ZAKLJUČAK

Smanjenje gubitaka električne energije jedan je od glavnih prioriteta HEP ODS-a. Pokazatelj je to ekonomičnosti i kvalitete poslovanja distribucijskog poduzeća. S ciljem smanjenja tehničkih gubitaka Elektre Požega prikupljeni su podaci o topologiji mreže, tipu i duljinama dalekovoda, transformatorima u mreži, potrošnji pojedinih 10/0,4 kV trafostanica i mjerenjima iz SCADA sustava. Koristeći navedeno kreiran je model u programskom okruženju NEPLAN, izračunati su gubici električne energije u 35 i 10 kV dalekovodima te 35/10 kV i 10/0,4 kV transformatorima. Također, predložene su mjere kako smanjiti gubitke u navedenim elementima. Predložena je promjena uklopnog stanja u 35 kV mreži, sugerira se promjena načina rada transformatora u dvije 35/10 kV trafostanice, dan je prijedlog za sedam izmjena uklopnog stanja u 10 kV mreži, a kreiran je i plan zamjene i nabavke novih 10/0,4 kV transformatora.

Navedenim mjerama postiže se značajna ušteda električne energije. Na godišnjoj razini optimiziranjem uklopnog stanja 35 kV mreže gubici električne energije Elektre Požega smanjiti će se za 325.784 kWh, optimizacijom rada 35/10 kV transformatora za 27.502 kWh, a optimizacijom uklopnog stanja 10 kV mreže za 88.204 kWh. To je ukupno godišnje smanjenje gubitaka od 441.490 kWh bez da je potrebno uložiti ikakva financijska sredstva. Uvrštavajući te rezultate u podatke o nabavi, prodaji i gubicima električne energije Elektre Požega u 2017. godini, navedenim zahvatima gubici bi se smanjili s 8,68% na 8,37%.

Kreiran je i plan provedbe zamjene 10/0,4 kV transformatora po trafostanicama. Prioriteti su određeni prema opterećenju i starosti transformatora te uzevši u obzir cijenu novih transformatora. Troškovi nabave novih transformatora procijenjeni su na 7,35 milijuna kuna, a u konačnici donijet će godišnje uštede u smanjenju gubitaka od 717.143 kWh. Time bi se gubici električne energije u Elektri Požega smanjili na 7,91%. Nabava novih transformatora imat će pozitivne učinke i na poboljšanje rada i sigurnost sustava te posljedično, zbog smanjenja gubitaka, i pozitivan utjecaj na očuvanje okoliša.

## 8. LITERATURA

- [1] T.BARIČEVIĆ, V.DUDJAK, D.VIDOVIĆ, M.SKOK, K.PERIĆ, Stručna i znanstvena potpora u izradi metodologije za planiranje gubitaka električne energije i metodologije za izračun ostvarenja gubitaka te procjene tehničkih gubitaka i neovlašteno preuzete električne energije, Energetski institut Hrvoje Požar, srpanj 2016, Zagreb
- [2] M.SKOK, D.MILETA, T.BARIČEVIĆ, Studija razvoja SN mreže za razdoblje narednih 20 godina za distribucijsko područje Elektra Požega, Energetski institut Hrvoje Požar, siječanj 2011, Zagreb
- [3] K.TRUPINIĆ, Mjere za smanjenje gubitaka u distribucijskoj mreži, FER Zagreb, 2005, Zagreb