

Štefan Ivičić
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar
stefan.ivicic@hep.hr

Zvonimir Popović
HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar
zvonimir.popovic@hep.hr

OPTIMALNO VOĐENJE DISTRIBUCIJSKE MREŽE ELEKTRE BJELOVAR NAKON PRIKLJUČENJA GEOTERMALNE ELEKTRANE CIGLENA

SAŽETAK

U svrhu analize elektroenergetskih mreža sve se češće koriste računalne simulacije modela mreže korištenjem programskih alata specijaliziranih za elektroenergetske proračune, a u novije vrijeme i umjetna inteligencija. Simulacije koje se izvode mogu uključivati proračune kratkog spoja, tehničkih gubitaka, pouzdanosti napajanja, naponskih prilika, tokova snaga i dr.

U radu je opisan proračun tehničkih gubitaka mreže u različitim pogonskim stanjima prije i nakon puštanja u rad geotermalne elektrane Ciglena i ostalih elemenata planiranih za blisku budućnost. Tražit će se optimalan način vođenja mreže s ciljem minimalizacije gubitaka energije.

Ključne riječi: tehnički gubici, NEPLAN, geotermalna elektrana, 20 kV, računalna analiza, rekonstrukcija mreže

OPTIMAL MANAGMENT OF THE DISTRIBUTION NETWORK OF ELEKTRA BJELOVAR AFTER CONNECTING THE GEOTERMAL POWER PLANT CIGLENA

SUMMARY

Computer simulations of power network models are more and more used for the purpose of power network analysis, whether using specialized program tools or, most recently, artificial intelligence. Performed simulations can include calculations of short circuits, technical losses, reliability, voltage conditions, load flows and others.

This paper presents technical network loss calculations for different operating states before and after connection of geothermal power plant Ciglena and also other elements in network planned in the near future. The goal is to find an optimal network management mode with minimal energy losses.

Key words: technical losses, NEPLAN, geothermal power plant, 20 kV, computer analysis, network reconstruction

1. UVOD

Distribucijsku mrežu Elektre Bjelovar uskoro očekuju mnoge promjene pri čemu pojedinačno razmatranje tih promjena više nije dostatno već se nameću zahtjevi za zbirnom analizom. Dodatno, težnja HEP Operatora distribucijskog sustava za konstantnim smanjenjem gubitaka po pojedinim distribucijskim područjima te trend zamjene 10 kV i 35 kV naponskih razina 20 kV naponskom razinom stvara dodatan izazov pri realizaciji takvih promjena u bliskoj budućnosti.

Na distribucijsku mrežu Elektre Bjelovar uskoro se priključuje geotermalna elektrana Ciglena snage 10 MW. Za distribucijsko područje Bjelovara to predstavlja distribuirani izvor značajne snage. Kako će elektrana biti locirana u izvangradskom području relativno niske potrošnje, evakuacija ostatka proizvedene energije imat će nepovoljan utjecaj na gubitke u mreži.

Jedna od mogućnosti za ublažavanje povećanja gubitaka jest izgradnja novog 35 kV kablenskog voda od GTE Ciglena do TS 35/10 kV Bjelovar 2. Istovremeno, dio gradske distribucijske mreže koji napaja industrijsko područje grada Bjelovara, što uključuje i najvećeg potrošača - tvrtku Kronospan CRO d.o.o., planira se uskoro napajati naponom od 20 kV. Elektra Bjelovar izdala je tvrtki Kronospan prethodnu elektroenergetsku suglasnost za povećanje zakupljene snage sa 5,08 na 9 MW [7] što predstavlja dodatan faktor pri razmatranju. Nadalje Kronospan je izdao zahtjev za daljnjim povećanjem priključne snage na 12,42 MW. [8]

Industrijsko područje grada trenutno se u normalnom pogonskom stanju mreže napaja iz trafostanice 110/10(20) kV Mlinovac, a u slučaju nedostupnosti iste, iz trafostanice 35/10 kV Bjelovar 2. Kako je oprema u TS 35/10 kV Bjelovar 2 dotrajala i stara, a prvenstveno njeni energetske transformatori, zamjena je nužna kako bi se povećala pouzdanost distribucije i poboljšale energetske prilike u mreži. Takva rekonstrukcija predstavlja priliku za razmatranjem optimalnog vođenja mreže nakon uvođenja spomenutih promjena što će biti podloga za odabir nove opreme u TS 35/10 kV Bjelovar 2. Pogonska stanja uzeta u obzir moraju isto tako pružiti rezervu napajanja 20 kV dijela mreže kako bi se zadovoljio kriterij (n-1) dok istovremeno treba na umu imati cijenu investicije.

Kako je jedan od ključnih ciljeva HEP Operatora distribucijskog sustava smanjenje gubitaka nastalih u mreži te se poslovni uspjeh pojedinih distribucijskih područja djelomično mjeri i zadovoljavanjem tog kriterija ([6], [9], [10], [11]), potrebno je težiti implementaciji promjena uz ograničavanje iznosa gubitaka. Pri tome na umu ćemo imati ne samo optimalni režim rada krajnjeg poznatog sastava mreže već i optimizaciju pojedinih međustanja na putu stalnoga razvoja mreže Elektre Bjelovar.

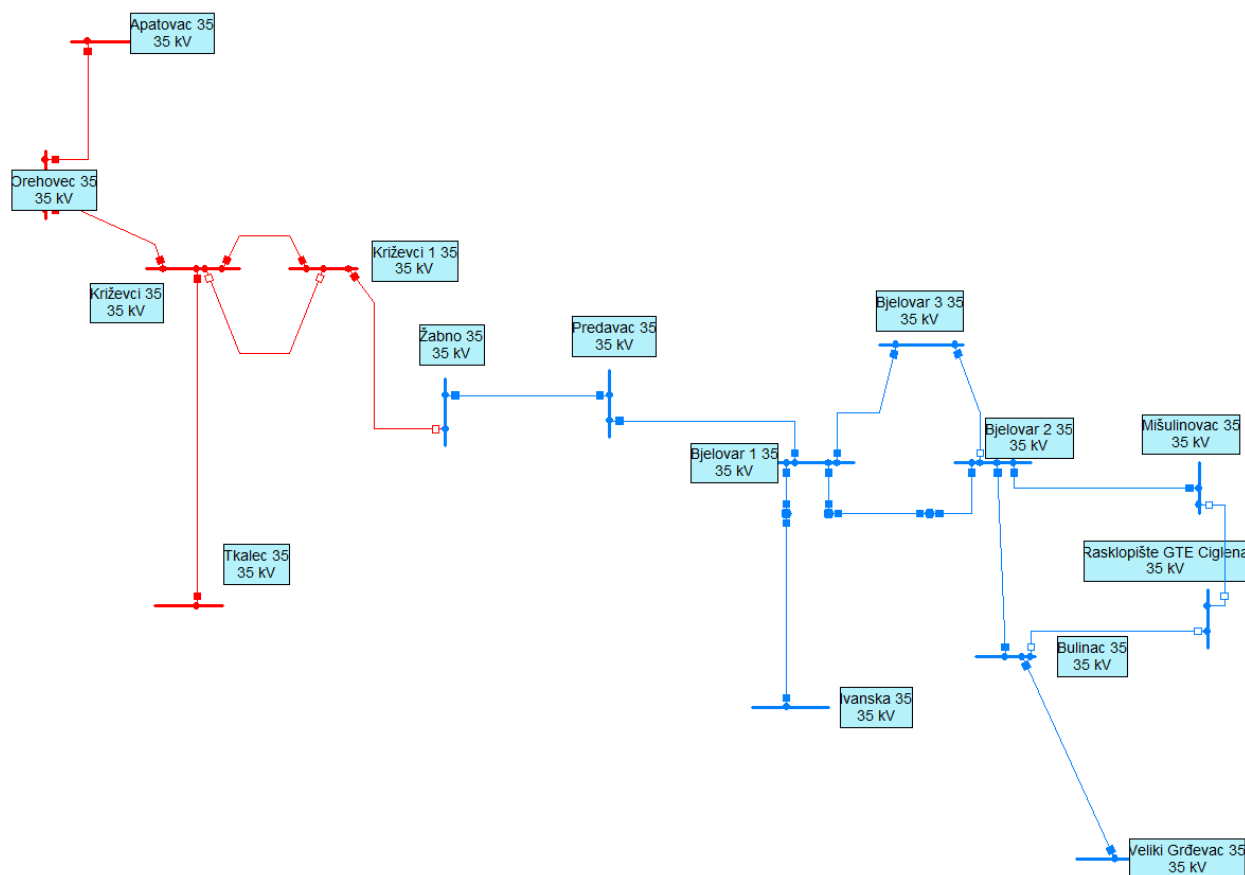
2. PRORAČUN I USPOREDBA GUBITAKA

Tehničke gubitke se može dovoljno točno procijeniti iz proračuna koji se rade u studijama razvoja mreže pojedinog distribucijskog područja [1], a netehnički gubici su razlika ukupnog iznosa gubitaka i iznosa tehničkih gubitaka.

Pitanje određivanja tehničkih gubitaka proračunom kompleksan je problem zbog velikog broja elemenata mreže, odnosno objekata na različitim naponskim razinama uzrokovanog njenom širom rasprostranjenosti, što uvjetuje opsežne tehničke baze podataka zbog vjerodostojnog modeliranja elemenata mreže i pripadnih tokova snaga. Za točan proračun tehničkih gubitaka bilo bi nužno imati podatke o godišnjim krivuljama opterećenja elemenata mreže, a isto tako i kupaca. Dakle, egzaktno određivanje iznosa tehničkih gubitaka nije moguće, već je potrebno imati dovoljno točnu metodologiju za njihovo određivanje. [11]

Proračun gubitaka ovog referata napravljen je u programskom paketu NEPLAN, a korišteni model distribucijske mreže Elektre Bjelovar baziran je na modelu korištenom u studiji razvoja distribucijske mreže Elektre Bjelovar [1] uz ažuriranja i određene modifikacije. Izvršeni su vremenski proračuni tokova snaga za karakteristični tjedan, a zatim su iz tjednih gubitaka izvedeni prosječni dnevni gubici radi lakše usporedbe. Prosječna dnevna potrošnja pri tome je usrednjena za razdoblje od godinu dana izmjereno u SCADA sustavu. Kako su gubici ovisni o kvadratu struje, na taj je način dobiven precizniji rezultat u odnosu na običan proračun tokova snaga jer su u obzir uzete dnevne i tjedne varijacije u potrošnji. Nešto precizniji rezultat dobio bi se godišnjim proračunom, ali za godišnji bi proračun bilo potrebno poznavati godišnje varijacije u potrošnji, a potrebna računalna moć za tako složen model prelazila bi mogućnosti običnog osobnog računala.

Topologija 35 kV mreže Elektre Bjelovar dana je na slici 1. Rasklopište 35 kV GTE Ciglana spojeno je 35 kV kabelima na TS 35/10 kV Bulinac i TS 35/10 kV Mišulinovac.



Slika 1. Prikaz 35 kV mreže Elektre Bjelovar u NEPLAN-u

Valja napomenuti i kako su 10 kV sabirnice trafostanica 35/10 kV Bjelovar 2 i 110/10 kV Mlinovac spojeni pomoću dva kabela presjeka $3 \times 240 \text{ mm}^2$. U normalnom pogonskom stanju u pogonu su samo transformatori u TS 110/10 kV Mlinovac dok TS 35/10 kV Bjelovar 2 služi kao rezerva.

2.1. Usporedba uklopnih stanja 35 kV mreže

Predviđeno normalno uklopno stanje mreže nakon pripojenja geotermalne elektrane Ciglana, a prije nego se ostvari spoj 35 kV mreže u prsten, podrazumijeva da 35 kV kabel GTE Ciglana –TS Bulinac bude u pogonu, a TS Mišulinovac bude napojena 35 kV kabelom TS Bjelovar 2 – TS Mišulinovac. Odnosno, u pričuvnom uklopnom, predviđa se da 35 kV kabel GTE Ciglana –TS Mišulinovac bude u pogonu, a TS Bulinac bude napojena 35 kV kabelom TS Bjelovar 2 – TS Bulinac. [2], [3], [4], [5]

Za razliku od do sada predloženih uklopnih stanja, razmatrat će se i treće uklopno stanje kada su oba kabela prema GTE Ciglana u pogonu, a vod TS Bjelovar 2 – TS Mišulinovac bude van pogona kako bi mreža ostala radijalna. Razlog tome jest težnja ka principu potrošnje električne energije što bliže mjestu proizvodnje. Tako će potrošnja spojena na TS 35/10 kV Bulinac, TS 35/10 kV Mišulinovac i TS 35/10 kV Veliki Grđevac biti potpuno napajana iz geotermalne elektrane Ciglana, a u TS 35/10 kV Bjelovar 2 evakuirati će se manji višak proizvedene energije.

Usporedba gubitaka distribucijskog područja Elektre Bjelovar bez GTE Ciglana (referentni slučaj) i gubitaka triju gore navedenih uklopnih stanja dok je elektrana priključena na mrežu dana je u tablici I:

Tablica I. Usporedba gubitaka mreže pri različitim uklopnim stanjima:

Uklopno stanje					Rezultati	
35 kV vod Bjelovar 2 - Bulinac	35 kV vod Bjelovar 2 - Mišulinovac	35 kV kabel Ciglana - Bulinac	35 kV kabel Ciglana - Mišulinovac	GTE Ciglana	Dnevni gubici (MWh)	Razlika dnevni gubitaka u odnosu na referentni slučaj (MWh)
uključeno	uključeno	isključeno	isključeno	isključeno	27,03862395	0
uključeno	uključeno	isključeno	uključeno	uključeno	31,86331357	4,824689625
uključeno	uključeno	uključeno	isključeno	uključeno	30,64226416	3,603640216
uključeno	isključeno	uključeno	uključeno	uključeno	28,78609522	1,747471271

Navedeni gubici u tablici I. tehnički su gubici cijelog distribucijskog područja Elektre Bjelovar na srednjem naponu. Stvarni gubici su vjerojatno nešto viši zbog nepotpunosti podataka. Naime, gubici u bakru i željezu nisu poznati za sve transformatore nazivnih napona 10/0,4 kV. To posebice vrijedi za transformatore starije proizvodnje čiji se gubici onda supstituiraju poznatim gubicima novijih transformatora jednake snage, a koji su u pravilu efikasniji.

Iz rezultata u tablici I. vidljivo je kako geotermalna elektrana nepovoljno utječe na gubitke u mreži. Svi slučajevi u kojima je elektrana u pogonu imaju gubitke veće u odnosu na referentni slučaj prije priključenja elektrane na mrežu. Međutim, kao što je i pretpostavljeno, vidljivo je i kako je porast gubitaka najniži upravo kada su oba 35 kV kabela prema GTE Ciglana u pogonu dok je vod između TS Mišulinovac i TS Bjelovar 2 isključen. Takvo uklopno stanje predlaže se kao osnovna mjera apsorpcije povećanja gubitaka nakon priključenja geotermalne elektrane na mrežu.

2.2. Usporedba pogona 35 kV mreže radijalno i u petlji

Jedan od ciljeva integracije GTE Ciglana u distribucijsku mrežu Elektre Bjelovar jest zatvaranje 35 kV petlje GTE Ciglana – TS Bulinac – TS Bjelovar 2 – TS Mišulinovac – GTE Ciglana. Na taj bi se način geotermalnoj elektrani pružila mogućnost dvosmjernog napajanja što povećava sigurnost. Kako bi se ostvario pogon u petlji potrebno je adekvatno nadograditi sustav zaštite. [2] U ovom potpoglavlju razmotrit ćemo kako takav pogon distribucijske mreže u petlji utječe na cjelokupne gubitke. Pri tome ćemo pogon 35 kV mreže u prstenu uspoređivati sa najpovoljnijim slučajem radijalnog pogona mreže iz prošlog potpoglavlja kada je 35 kV vod TS Bjelovar 2 – TS Mišulinovac isključen, a svi ostali vodovi iz tablice I. uključeni. Kako trafostanicu 35/10 kV Bjelovar 2 uskoro očekuje rekonstrukcija te kako trenutno uvelike služi kao rezerva za TS 110/10 kV Mlinovac, ovom prilikom usporediti će se i gubici pri različitim konfiguracijama uključenja transformatora u trafostanicama Mlinovac i Bjelovar 2 kako bi se izdvojio najpovoljniji slučaj. Pri tome je za obje trafostanice navedena snaga transformatora koja je u pogonu.

Trafostanica 110/10(20) kV Mlinovac opremljena je s dva transformatora snage 20 MVA, od kojih je jedan transformator konstruiran za postizanje veće efikasnosti. Trafostanicu 35/10 kV Bjelovar 2 uskoro očekuje rekonstrukcija što uključuje i zamjenu transformatora. Trenutno se u trafostanici nalaze dva transformatora snage 8 MVA, ali razmatrat će se i mogućnost ugradnje transformatora snage 16 MVA kako bi se ustanovilo postoji li za takvu investiciju opravdanje.

Kako se dio 10 kV mreže koji se trenutno napaja iz 110/10 kV Mlinovac, uskoro planira napajati 20 kV naponom, a o čemu će više riječi biti kasnije, potrebno je već sada razmotriti odvojeno napajanje onih izlaza koji će preći na 20 kV napon i onih koji će ostati na 10 kV naponu. Od 11 sredjenaponskih izlaza iz TS 110/10 kV Mlinovac, 8 će preći na napajanje 20 kV naponom (uključujući i Kronospan), a 3 će ostati napajani naponom od 10 kV. [1] U tablici II. navedeno je koje trafostanice napajaju koliko izlaza, odnosno ako nije navedeno, tada napajaju svih 11. Proračun u tablici II. i dalje podrazumijeva kako je svih 11 izlaza napajano 10 kV naponom, dok će stvarni prelazak na 20 kV napon biti razmatran u sljedećem potpoglavlju.

Rezultati proračuna usporedbe gubitaka rada 35 kV mreže radijalno i u petlji, dani su u tablici II. za različite konfiguracije transformatora u TS 35/10 kV Bjelovar 2 i TS 110/10 kV Mlinovac:

Tablica II. Usporedba gubitaka mreže pri različitim uklopnim stanjima (10 kV):

Uklopno stanje				Rezultati	
Uključena snaga u TS Bjelovar 2 (MVA)	Uključena snaga u TS Mlinovac (MVA)	GTE Ciglena	35 kV vod Bjelovar 2 - Mišulinovac	Dnevni gubici (MWh)	Razlika dnevnih gubitaka u odnosu na referentni slučaj (MWh)
isključeno	1x20	isključeno	uključeno	27,03862395	0
isključeno	1x20	uključeno	isključeno	28,78355921	1,744935259
2x8 (8 polja)	1x20 (3 polja)	uključeno	isključeno	29,94882031	2,910196361
1x8 (3 polja)	1x20 (8 polja)	uključeno	isključeno	28,84192447	1,803300523
2x8	isključeno	uključeno	isključeno	29,78655986	2,747935915
1x16 (8 polja)	1x20 (3 polja)	uključeno	isključeno	29,81201655	2,773392603
1x16(8p.)+1x8(3p.)	isključeno	uključeno	isključeno	29,71588467	2,677260726
1x16	isključeno	uključeno	isključeno	29,62930584	2,590681893
isključeno	1x20	uključeno	uključeno	27,66513901	0,626515057
2x8 (8 polja)	1x20 (3 polja)	uključeno	uključeno	28,78522665	1,746602704
1x8 (3 polja)	1x20 (8 polja)	uključeno	uključeno	27,71698338	0,67835943
2x8	isključeno	uključeno	uključeno	28,61686694	1,578242993
1x16 (8 polja)	1x20 (3 polja)	uključeno	uključeno	28,64816322	1,609539271
1x16(8p.)+1x8(3p.)	isključeno	uključeno	uključeno	28,54599814	1,507374196
1x16	isključeno	uključeno	uključeno	28,45927242	1,420648476

Kao i u tablici I., prvi slučaj predstavlja referentno stanje kada geotermalna elektrana Ciglena nije u pogonu. Gubici referentnog slučaja označeni su žutom, a rezultati najpovoljnijih slučajeva s obzirom na gubitke za radijalni i prstenasti rad mreže kada je elektrana u pogonu označeni su zelenom bojom. Vidljivo je kako za sve slučajeve gubici rastu u odnosu na referentni slučaj. I za radijalni i prstenasti rad mreže najpovoljniji slučaj javlja se kada je jedini transformator u pogonu jedan od transformatora iz TS Mlinovca (onaj efikasniji) koji onda napaja cijelu potrošnju tog dijela mreže.

Uklopna stanja koja se uspoređuju u tablici II. predstavljaju moguća normalna/redovna uklopna stanja među kojima se traži ono najpovoljnije s obzirom na gubitke. Pri tome se teži ka većem angažmanu transformatora veće efikasnosti, dok manje efikasni služe napajanju manjeg konzuma ili kao pričuva. Pričuvno uklopno stanje mora biti osigurano u svakom od slučajeva u tablici II. radi zadovoljavanja kriterija (n-1), ali zbog relativno niskog vremenskog udjela rada mreže u pričuvnom uklopnom stanju, analiza gubitaka za takve slučajeve nije interesantna, odnosno zanemaruje se.

2.3. Prelazak dijela 10 kV mreže na 20 kV

Kao što je spomenuto u prethodnom potpoglavlju, neka od vodnih polja u TS 110/10(20) kV Mlinovac u skoroj budućnosti napajati će se pogonskim naponom od 20 kV.

Slično kao u tablici II. i ovdje je naznačeno koji transformatori napajaju koji dio mreže, ali sada se ranije navedenih 8 vodnih polja iz TS Mlinovac stvarno napajaju naponom 20 kV, dok se ostala 3 napajaju naponom od 10 kV. Kako su vodna polja napajana različitim naponskim razinama, sada nije dovoljno imati u pogonu samo jedan transformator, stoga nam najpovoljniji slučajevi iz tablice II. više nisu dostupni. Rezultati utjecaja takvog režima rada mreže dani su u tablici III.

Gubici referentnih slučajeva označeni su žutom, a gubici najpovoljnijih slučajeva u kojima je elektrana u pogonu označeni su zelenom bojom, po jedan slučaj za pogon mreže radijalno i u petlji. Iz rezultata u tablici III. vidljivo je kako se prelaskom mreže na pogonski napon od 20 kV mogu u određenim uklopnim stanjima dobiti niži gubici nego u tablici II. kada su sva vodna polja bila napajana naponom od 10 kV iako smo bili prisiljeni koristiti dva transformatora umjesto jednoga. Potreba za dva transformatora u pogonu uzrokovala je i veće gubitke u slučaju kada elektrana ne radi. Međutim, kao i prethodno, niti ovdje ne postoji uklopno stanje pri kojemu će gubici mreže biti niži kada elektrana radi u odnosu na referentni slučaj kada nema elektrane.

Tablica III. Usporedba gubitaka mreže pri različitim uklopnim stanjima (20 kV):

Uklopno stanje				Rezultati	
Uključena snaga u TS Bjelovar 2 (MVA)	Uključena snaga u TS Mlinovac (MVA)	GTE Ciglena	35 kV vod Bjelovar 2 - Mišulinovac	Dnevni gubici (MWh)	Razlika dnevnih gubitaka u odnosu na referentni slučaj (MWh)
Referentni slučaj (tablica II.)				27,03862395	0
isključeno	2x20	isključeno	uključeno	27,25481411	0,216190165
isključeno	2x20	uključeno	isključeno	28,97258737	1,933963421
1x8 (10 kV)	1x20 (20 kV)	uključeno	isključeno	28,55547569	1,516851746
2x8 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	isključeno	29,5210579	2,482433947
1x16 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	isključeno	29,38437903	2,345755085
1x16(20)+1x8(10)	isključeno	uključeno	isključeno	29,21642256	2,177798608
isključeno	2x20	uključeno	uključeno	27,85401036	0,815386407
1x8 (10 kV)	1x20 (20 kV)	uključeno	uključeno	27,4305346	0,391910653
2x8 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	uključeno	28,35842395	1,319799997
1x16 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	uključeno	28,22127295	1,182649
1x16(20)+1x8(10)	isključeno	uključeno	uključeno	28,0491129	1,010488953

2.4. Povećanje priključene snage potrošača Kronospan CRO d.o.o.

Tvrtka Kronospan CRO d.o.o. dobila je prethodnu elektroenergetsku suglasnost za povećanje priključene snage sa 5,08 MW na 9 MW. [7] U ovom potpoglavlju tražit ćemo optimalno uklopno stanje nakon povećanja snage. Krivulja potrošnje Kronospana modelirana je ekstrapolacijom stvarne krivulje potrošnje ostvarene u kolovozu 2017. godine.

Tablica IV. Usporedba gubitaka mreže pri različitim uklopnim stanjima (20 kV) nakon povećanja priključne snage potrošača Kronospan na 9 MW:

Uklopno stanje				Rezultati	
Uključena snaga u TS Bjelovar 2 (MVA)	Uključena snaga u TS Mlinovac (MVA)	GTE Ciglena	35 kV vod Bjelovar 2 - Mišulinovac	Dnevni gubici (MWh)	Razlika dnevnih gubitaka u odnosu na referentni slučaj (MWh)
Referentni slučaj (tablica II.)				27,03862395	0
isključeno	2x20	isključeno	uključeno	27,55279894	0,514174994
isključeno	2x20	uključeno	isključeno	29,2705722	2,23194825
1x8 (10 kV)	1x20 (20 kV)	uključeno	isključeno	28,92518172	1,886557775
2x8 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	isključeno	30,87566007	3,83703612
1x16 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	isključeno	30,67709989	3,638475938
1x16(20)+1x8(10)	isključeno	uključeno	isključeno	30,65347056	3,614846613
isključeno	2x20	uključeno	uključeno	28,15199518	1,113371236
1x8 (10 kV)	1x20 (20 kV)	uključeno	uključeno	27,80024063	0,761616683
2x8 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	uključeno	29,69873098	2,66010703
1x16 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	uključeno	29,50023413	2,461610177
1x16(20)+1x8(10)	isključeno	uključeno	uključeno	29,47247647	2,433852518

Kao što je i bilo za očekivati, povećanje snage potrošača dovelo je do povećanja gubitaka po apsolutnom iznosu. Vidljivo je kako se nije promijenilo optimalno uklopno stanje u odnosu na slučajeve kada je Kronospan imao priključnu snagu od 5 MW.

Kako je tvrtka Kronospan CRO d.o.o. podnijela zahtjev za daljnjim povećanjem priključene snage na 12,42 MW [8] javlja se potreba za daljnjom analizom rada mreže kako bi se ustanovilo utječe li takvo povećanje potrošnje na dosadašnje zaključke ovog referata. Tablica V. uspoređuje uklopna stanja pri toj snazi:

Tablica V. Usporedba gubitaka mreže pri različitim uklopnim stanjima (20 kV) nakon povećanja priključne snage potrošača Kronospan na 12,42 MW:

Uklopno stanje				Rezultati	
Uključena snaga u TS Bjelovar 2 (MVA)	Uključena snaga u TS Mlinovac (MVA)	GTE Ciglena	35 kV vod Bjelovar 2 - Mišulinovac	Dnevni gubici (MWh)	Razlika dnevnih gubitaka u odnosu na referentni slučaj (MWh)
Referentni slučaj (tablica II.)				27,03862395	0
isključeno	2x20	isključeno	uključeno	27,91198241	0,873358457
isključeno	2x20	uključeno	isključeno	29,62975566	2,591131714
1x8 (10 kV)	1x20 (20 kV)	uključeno	isključeno	29,37313691	2,334512961
2x8 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	isključeno	32,56841221	5,529788264
1x16 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	isključeno	32,31572128	5,277097336
1x16(20)+1x8(10)	isključeno	uključeno	isključeno	32,42067232	5,382048368
isključeno	2x20	uključeno	uključeno	28,51117865	1,472554699
1x8 (10 kV)	1x20 (20 kV)	uključeno	uključeno	28,24819582	1,209571868
2x8 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	uključeno	31,38195612	4,343332173
1x16 (20 kV)	1x20 (10 kV)	uključeno	uključeno	31,12834765	4,089723706
1x16(20)+1x8(10)	isključeno	uključeno	uključeno	31,23155444	4,192930488

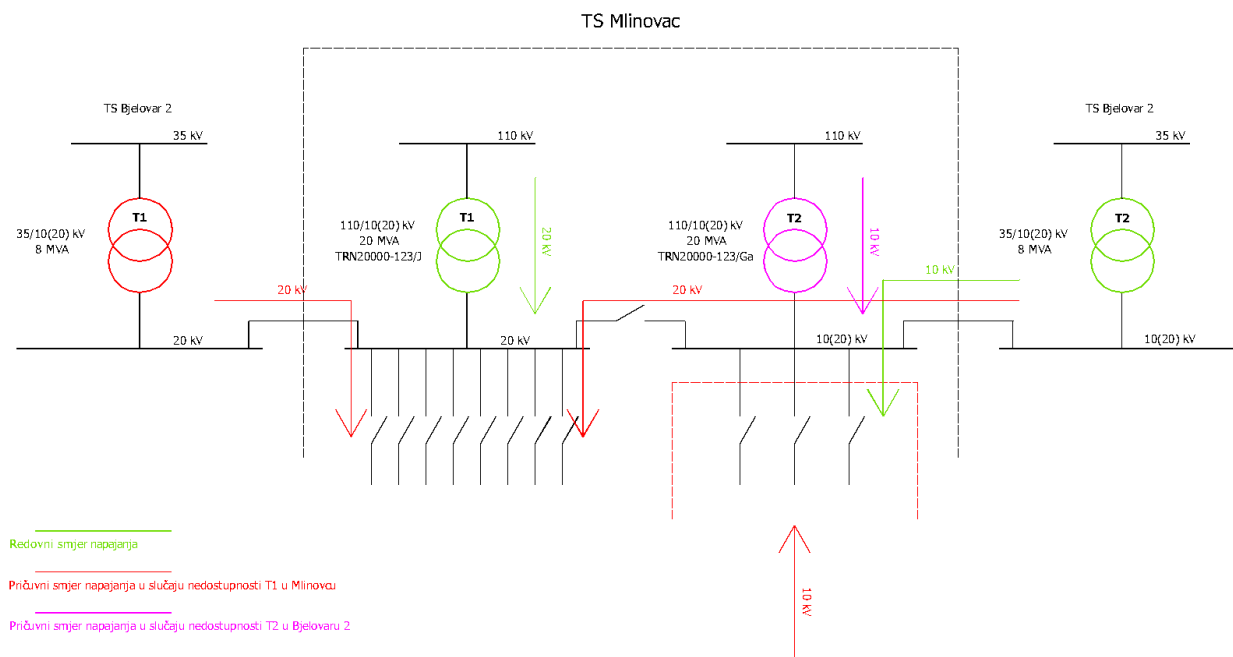
Kao što je vidljivo, optimalno uklopno stanje nije se promijenilo u odnosu na prethodne slučajeve.

3. ODABIR OPREME I VOĐENJE MREŽE NAKON PRIKLJUČENJA GTE CIGLENA

Prije prelaska na 20 kV napon, mreža bi se napojila kao što je prikazano najpovoljnijim slučajem u tablici II. pri čemu će jedan transformator u TS 110/10(20) kV Mlinovac napajati svih 11 vodnih polja u trafostanici. Prije prelaska dijela mreže na 20 kV pogonski napon treba izvršiti rekonstrukciju TS 35/10 kV Bjelovar 2. Pri odabiru opreme uzima se u obzir najpovoljniji rad mreže s obzirom na gubitke, dok istovremeno treba imati na umu ekonomičnost investicije.

3.1 Odabir transformatora i uklopna stanja u TS 35/10 kV Bjelovar 2

Kako se iz tablice III., tablice IV. i tablice V. vidi, u TS 35/10 kV Bjelovar 2 optimalan je rad jednog transformatora od 8 MVA. Međutim, zbog zadovoljavanja kriterija (n-1), potrebno je pružiti rezervu radu transformatora. Uzimajući rezervu u obzir, predlaže se ugradnja dvaju transformatora snage 8 MVA. Način na koji bi se taj dio mreže u tom slučaju pogonio prikazan je slikom 2.:



Slika 2. Predloženo uklopno stanje TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 i TS 110/10(20) kV Mlinovac nakon što dio mreže prijeđe na pogonski napon od 20 kV

U normalnom uklopnom stanju 20 kV polja napajala bi se preko transformatora T1 u TS 110/10(20) kV Mlinovac snage 20 MVA, a 10 kV polja preko transformatora T2 u TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 snage 8 MVA.

U slučaju ispada transformatora T1 u TS 110/10(20) kV Mlinovac potrebno je 20 kV vodna polja napojiti preko oba transformatora u TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 jer jedan transformator neće biti dovoljan za pružanje potrebne snage. Alternativno, mogao bi se u svrhu rezerve upotrijebiti i T2 u TS 110/10(20) kV Mlinovac, ali preklapanje transformatora tako velikih snaga na 20 kV složen je i dugotrajan zahvat te će on ostati odvojen od 10(20) kV sabirnice. Kako bi T2 u TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 mogao napojiti sabirnice naponom od 20 kV potrebno ga je preklopiti na 20 kV. 10 kV sabirnice potrebno je odvojiti od TS 110/10(20) kV Mlinovac kako bi se mogle napojiti iz drugog smjera. Oba kabela koja spajaju TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 i TS 110/10(20) kV Mlinovac treba pustiti u pogon, a spojno polje između 10(20) kV sabirnica potrebno je zatvoriti.

U slučaju ispada T2 u TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 u pogon bi se pustio T2 u TS 110/10(20) kV Mlinovac koji bi napajao 10 kV sabirnicu.

3.2 Izgradnja 35 kV kabela od TS Bjelovar 2 do GTE Ciglana

Zbog starosti 35 kV zračnog voda koji spaja TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 i TS 35/10(20) kV Bulinac može se razmatrati njegova skorašnja zamjena. Međutim, umjesto rekonstrukcije postojeće trase voda, planira se zamjena 35 kV kabelskim vodom koji bi spajao TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 sa rasklopnim postrojenjem Ciglana. Time bi se stvorila direktna veza između geotermalne elektrane i Bjelovarske gradske mreže.

Kako nova kabelska veza utječe na gubitke u mreži usporedit ćemo u tablici VI. Pri tome najpovoljnija stanja iz prethodnog poglavlja ponovno se proračunavaju, ali sada s kabelskom vezom između TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 i RP Ciglana umjesto zračnog voda koji je spajao TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 i TS 35/10(20) kV Bulinac. U tablici VI. podrazumijeva se kako je dio mreže već pogonjen naponom 20 kV.

Tablica VI. Usporedba apsolutnih iznosa gubitaka najpovoljnijih pogonskih stanja prije i nakon izgradnje 35 kV kabelskog voda TS 35/10(20) kV Bjelovar 2 – RPE Ciglana

Slučaj	Dnevni gubici (MWh)	Razlika dnevnih gubitaka u odnosu na referentni slučaj (MWh)
Referentni slučaj (tablica II.)	27,03862395	0
$P_{Kronospan} = 5 \text{ MW}$		
Najpovoljniji slučaj sa zračnim vodom Bjelovar 2 – Bulinac (tablica III.)	27,4305346	0,391910653
Najpovoljniji slučaj sa kabelskim vodom Bjelovar 2 – Ciglana	26,45272992	-0,585894025
$P_{Kronospan} = 9 \text{ MW}$		
Najpovoljniji slučaj sa zračnim vodom Bjelovar 2 – Bulinac (tablica IV.)	27,80024063	0,761616683
Najpovoljniji slučaj sa kabelskim vodom Bjelovar 2 – Ciglana	26,82243595	-0,216187995
$P_{Kronospan} = 12,42 \text{ MW}$		
Najpovoljniji slučaj sa zračnim vodom Bjelovar 2 – Bulinac (tablica V.)	28,24819582	1,209571868
Najpovoljniji slučaj sa kabelskim vodom Bjelovar 2 – Ciglana	27,27039114	0,231767191

Iz tablice VI. vidljivo je kako novi kabel donosi smanjenje gubitaka od oko 1 MWh dnevno. Iz tog podatka može se procijeniti očekivana otpлата investicije, kako bi se odredila isplativost gradnje kabela. Vidljivo je kako ne samo da su gubici manji u odnosu na slučaj sa zračnim vodom, nego su manji i od referentnog slučaja, pa čak i pri nekim većim priključnim snagama potrošača Kronospan.

Međutim, valja dodati i kako gubici u tablici VI. predstavljaju apsolutni iznos gubitaka, dok je ustvari relevantan postotni iznos gubitaka. [6], [9], [10], [11] Stoga ćemo u tablici VII. usporediti i postotne gubitke za različite snage potrošača Kronospan, uz sve do sada navedene mjere smanjenja gubitaka (optimalno uklopno stanje, prijelaz na 20 kV, rad 35 kV mreže u petlji te novi 35 kV kabel TS Bjelovar 2 – RP Ciglana):

Tablica VII. Relativni iznos tehničkih gubitaka na srednjem naponu za različite priključne snage Kronospana

Slučaj	Dnevna potrošnja (MWh)	Postotni iznos gubitaka
Referentni slučaj bez GTE Ciglana (tablica II.); $P_{Kronospan} = 5 \text{ MW}$	~803,0364	3,257371 %
GTE Ciglana; $P_{Kronospan} = 5 \text{ MW}$	803,0364	3,189039 %
GTE Ciglana; $P_{Kronospan} = 9 \text{ MW}$	867,8386	2,998056 %
GTE Ciglana; $P_{Kronospan} = 12,42 \text{ MW}$	923,2446	2,869012 %

Još jednom valja napomenuti kako postotni gubici u tablici VII. predstavljaju samo tehničke gubitke i to samo na srednjem naponu.

Iz tablice VII. vidljivo je kako postotak gubitaka opada sa priključnom snagom Kronospana. Slično kao što geotermalna elektrana u Cigleni povećava gubitke zbog svoje udaljenosti od centra potrošnje, tako i Kronospan smanjuje gubitke zbog svoje blizine centru proizvodnje. Naime, TS 110/10(20) kV Mlinovac u ovom slučaju (sa stajališta distribucije) predstavlja izvor energije, a Kronospan je prvi potrošač na svom izlazu stoga snaga putuje kratkom udaljenošću do mjesta potrošnje. Na taj način, iako Kronospan uvelike utječe na povećanje potrošene energije, mnogo manjim dijelom utječe na apsolutni iznos gubitaka energije, odnosno u konačnici smanjuje postotni udio gubitaka.

4. ZAKLJUČAK

Priključenje geotermalne elektrane Ciglana na distribucijsku mrežu Elektre Bjelovar nepovoljno utječe na iznos tehničkih gubitaka. Razlog tomu je relativno niska potrošnja na mjestu priključenja elektrane podalje od koncentrirane potrošnje Bjelovarske gradske mreže. Međutim, određenim mjerama ulaganja u zamjenu dotrajalih elemenata mreže te pomnim odabirom optimalnog pogonskog stanja mreže, može se djelomično ili potpuno kompenzirati povećanje gubitaka uzrokovano priključenjem elektrane.

Računalne metode postaju sve pristupačniji alat u analizi rada distribucijskih mreža. Kako su računalni modeli distribucijske mreže već dostupni u sklopu studija razvoja mreže pojedinog distribucijskog područja, uz dodatan utrošak truda i vremena za ažuriranje modela, mogu se dobiti potencijalno bitna saznanja o radu distribucijske mreže, bilo da se radi o izračunu tehničkih gubitaka, naponskih prilika, struja kratkog spoja ili kakve druge veličine.

Prema dobivenim rezultatima u ovom referatu može se očekivati kako će priključenje geotermalne elektrane Ciglana inicijalno povećati udio gubitaka u distribucijskoj mreži Elektre Bjelovar. Međutim, nakon inicijalnog rasta očekuje se postepeni pad gubitaka kako dolazi do implementacije pojedinih mjera unaprjeđenja rada mreže. U konačnici, cilj je postići gubitke niže od onih prisutnih prije priključenja geotermalne elektrane na mrežu.

5. LITERATURA

- [1] I. Kuzle, H. Pandžić, T. Capuder, M. Zidar, N. Holjevac, „Razvoj distribucijske mreže Elektre Bjelovar u razdoblju 2013-2033. godine“, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, travanj 2014.
- [2] T. Capuder, J. Havelka, N. Holjevac, K. Jurković, M. Krpan, I. Kuzle, H. Pandžić, Ivan Pavić, M. Zidar, „Elaborat podešenja relejne zaštite – 35 kV mreža grada Bjelovara“, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, prosinac 2016.
- [3] T. Capuder, J. Havelka, N. Holjevac, K. Jurković, I. Kuzle, H. Pandžić, I. Pavić, M. Zidar, „Elaborat utjecaja elektrane na distribucijsku elektroenergetsku mrežu – Geotermalna elektrana Velika 1 (10 MW)“, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, listopad 2016.
- [4] D. Arnaut, „Elaborat utjecaja elektrane na mrežu – Geotermalna elektrana Velika 1 (10 000 kW)“, Deuterij d.o.o., Zagreb, siječanj 2018.
- [5] T. Capuder, T. Cerovečki, J. Havelka, N. Holjevac, M. Jelić, G. Jerbić, K. Jurković, J. Kučica, I. Kuzle, B. Matić, D. Nemec, A. Milković, H. Pandžić, I. Pavić, M. Zidar, „Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja na elektroenergetsku mrežu – Geotermalna elektrana Marija 1 Velika Ciglana (10000 kW)“, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, srpanj 2015.
- [6] Analiza gubitaka električne energije za 2016. g. u HEP ODS d.o.o. Elektra Bjelovar, HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar, ožujak 2017.
- [7] Prethodna elektroenergetska suglasnost (PEES) Broj: 400601-050261-0091, HEP – ODS d.o.o., Elektra Bjelovar, travanj 2017.
- [8] Zahtjev za izdavanje prethodne elektroenergetske suglasnosti, 400600102/509/18SP, Kronospan CRO d.o.o., siječanj 2018.
- [9] Godišnje izvješće 2014., HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o., Zagreb, travanj 2015.
- [10] Desetogodišnji (2016.-2025.) plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje, HEP ODS, Zagreb, studeni 2015.
- [11] Godišnje izvješće o praćenju gubitaka u distribucijskoj mreži i godišnjoj analizi gubitaka, kao i planiranju gubitaka radi nabave za 2015. Godinu, HEP ODS, Zagreb, ožujak 2016.