

DOI: [10.46793/CIGRE37.C4.05](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C4.05)

C4.05

**PRORAČUN GUBITAKA I OGRANIČENJA U PRENOSU NA BAZI PREDIKCIJE
STVARNE TEMPERATURE PROVODNIKA ZA POTREBE STUDIJE IZVODLJIVOSTI
REKONSTRUKCIJE DALEKOVODA****CALCULATION OF POWER LOSSES AND UNDELIVERED ENERGY BASED ON
PREDICTION OF REAL CONDUCTOR TEMPERATURE USED FOR COST-BENEFIT
ANALYSIS OF RECONSTRUCTION OF AN OVERHEAD LINE****Nikola Đoković*, Jovan Todorović, Dejana Jankelić, Jovana Tuševljak***

Kratak sadržaj: Rad prezentuje proračun gubitaka i proračun neisporučene energije na dalekovodu baziran na stvarnoj temperaturi provodnika, korišćen za potrebe tehnoekonomske analize primjene različitih tehničkih rješenja za sanaciju odnosno rekonstrukciju DV 110 kV Bileća – Trebinje. Dalekovod se nalazi na području sa izuzetno malom potrošnjom električne energije, gdje ekspanzija izgradnje obnovljivih izvora energije diktira odluku o obimu sanacije odnosno rekonstrukcije voda. Rad sadrži opis mreže i planiranih scenarija razvoja proizvodnje u regiji od interesa, analizu raspoloživih klimatoloških podataka i njihovog uticaja na prenosnu moć dalekovoda, opis metoda za proračun gubitaka i proračun neisporučene energije i zaključke.

Ključne reči: *Rekonstrukcija, Nadzemni elektroenergetski vod, Obnovljivi izvori energije, Gubici električne energije, Neisporučena energija*

Abstract: This paper presents calculation of power losses and undelivered energy on overhead line used for cost-benefit analysis of various technical solutions of reconstruction of overhead line 110 kV Bileća – Trebinje. Overhead line is placed in area with small consumption compared to dominant production of electrical power and expansion of new renewable sources of energy which influences decision on scope of reconstruction of an old overhead line. Paper is consisted of description of grid and planed scenarios of sources development, analysis of available climate data and its impact on carrying capacity of overhead line, description of method used for calculation of power losses and undelivered energy and conclusions.

Key words: *Reconstruction, Overhead line, Renewable sources of energy, Power losses, Undelivered energy*

* Nikola Đoković, Elektroprenos BiH, nikola.djokovic@elprenos.ba
Jovan Todorović, Elektroprenos BiH, jovan.todorovic@elprenos.ba
Dejana Jankelić, Elektroprenos BiH, dejana.jankelic@elprenos.ba
Jovana Tuševljak, Elektroprenos BiH, jovana.tusevljak@elprenos.ba

1 UVOD

DV 110 kV Bileća – Trebinje je izgrađen tokom 1950-tih godina kao dalekovod za nazivni napon 35 kV. Tokom 1960-tih godina je rekonstruisan za pogon pod nazivnim naponom 110 kV. Zbog starosti voda je predviđena njegova sanacija koja obuhvata zamjenu cjelokupne elektro-opreme: provodnika, izolatora, ovjesne i spojne opreme. Zbog intenzivne izgradnje obnovljivih izvora energije u regiji Istočne Hercegovine i očekivanog porasta strujnog opterećenja dalekovoda, pored zamjene opreme razmatrana su i različita tehnička rješenja rekonstrukcije dalekovoda koja imaju različite performanse u pogledu prenosne moći i pouzdanosti dalekovoda. Kao Varijanta 0 razmatrano je zadržavanje postojećeg tipa provodnika Al/Č 150/25 sa ugradnjom DTR sistema (eng. Dynamic Thermal Rate System, sistem za daljinsko mjerenje temperature i prognozu strujne opteretivosti voda u realnom vremenu) i povećanjem sigurnosnih visina na određenim mjestima kako bi se obezbijedio siguran pogon pri temperaturi provodnika do 80°C, koja je jednaka maksimalnoj trajno dozvoljenoj temperaturi za ovaj tip provodnika. Kao Varijanta 1 razmatrana je potpuna zamjena svih stubova i ugradnja novih sa provodnicima Al/Č 240/40 pri čemu bi bio omogućen siguran rad dalekovoda pri temperaturama provodnika do maksimalne trajno dozvoljene temperature provodnika od 80°C. Kao Varijanta 2 razmatrana je ugradnja provodnika AT1/A20SA sa maksimalnom dozvoljenom temperaturom od 150°C. Zbog značajnog povećanja ugiba pri visokim temperaturama, Varijantom 2 rekonstrukcije je predviđeno da sigurnosne visine dalekovoda budu zadovoljene pri temperaturama do 120°C. Kao Varijanta 3 razmatrana je ugradnja HTLS (eng. High Temperature Low Sag, provodnici sa smanjenim ugibom pri visokim temperaturama) provodnika sa karbonskom jezgrom sa maksimalnom trajno dozvoljenom temperaturom provodnika od 180°C pri kojoj su zadovoljeni i tehnički zahtjevi u pogledu sigurnosnih visina.

Cilj rada je prezentacija metodologije koja je korišćena za izračunavanje gubitaka i neisporučene energije iz obnovljivih izvora u analizi različitih varijanti za rekonstrukciju voda, a koja za osnov ima termički proračun provodnika i procjenu gubitaka i ograničenja u prenosu na bazi stvarne temperature provodnika.

2 MODEL MREŽE KORIŠĆEN U PRORAČUNIMA

U regiji Istočne Hercegovine postoji značajan potencijal za izgradnju obnovljivih izvora energije. Od ranije su u pogonu HE Trebinje 1 i HE Dubrovnik, koje su priključene na mrežu nazivnog napona 220 kV. U sjevernom dijelu regije je izgrađena HE Ulog, a u srednjem dijelu je u toku izgradnja HE Dabar. Pored ovih elektrana, postoji potencijal za izgradnju dodatnih elektrana u slivu rijeka Neretve i Sutjeske, kao i HE Nevesinje na rijeci Zalomci i HE Bileća na kraju odvodnog tunela iz HE Dabar. U planovima od ranije je izgradnja vjetroelektrana Trusina i Hrgud kod Berkovića, a u toku je izgradnja VE Grebak kod Nevesinja. Ispitivanja potencijala za izgradnju vjetroelektrana su vršena i na lokaciji Leotara sjeverozapadno od Trebinja i platoa Morine sjeveristočno od Nevesinja. Od solarnih elektrana na mrežu je priključena SE Bileća snage 55 MW, upravo na DV 110 kV Bileća - Trebinje, a na DV 220 kV Mostar 3 – Trebinje/II priključena je SE Hodovo snage 92,7 MW. U cijeloj regiji je na više lokacija najavljena izgradnja novih solarnih elektrana. Nove solarne elektrane su planirane sa instalisanim snagama od nekoliko MW i priključenjem na sredjenaponsku mrežu do preko 120 MW i priključenjem na mrežu nazivnog napona 220 kV i 400 kV.

Realizacija ovih projekata je neizvjesna i u potpunosti zavisi od sposobnosti privatnih investitora da obezbijede potrebna finansijska sredstva za njihovu izgradnju. Međutim, izvjesno je da će u skorij budućnosti mnogi od ovih projekata biti realizovani.

Bazni scenario (SC0) podrazumijeva razvoj proizvodnje na bazi postojećih ugovora o priključku, izdatih uslova za priključak ili proizvodnih objekata koji su uključeni i planove razvoja proizvodnje Elektroprivrede Republike Srpske (ERS), poznatih u vrijeme provođenja analiza, krajem 2022. godine.

Scenario 1 podrazumijeva brži porast instalisanih proizvodnih kapaciteta, i to sa dvije podvarijante: kada je dominantna izgradnja solarnih elektrana (SC1-Solar) odnosno kada je dominantna izgradnja novih vjetroelektrana (SC1-Vjetro), što je za sada manje vjerovatno jer, osim lokacija uključenih u bazni scenario, nema prijava za nove proizvodne objekte na bazi vjetra u regiji od interesa.

Scenario 2 predstavlja dodatno ubrzanje i proširenje obima izgradnje novih proizvodnih kapaciteta u regiji, takođe sa dvije podvarijante. U Tabeli I su prikazani opisani scenariji, sa prikazanim instalisanim kapacitetima po posmatranim godinama.

Za analizu tokova snaga razmatran je kao kritičan slučaj ljetnji maksimum, zavisno o scenariju razvoja nove proizvodnje u posmatranoj regiji. Radi jednostavnosti, snage potrošnje su preuzete iz modela mreže za ljetnji maksimum.

Tabela I: Različiti scenariji za analize, sa prikazanim instalisanim kapacitetima po posmatranim godinama.

Scenario	Godi-na	HE Ulog	SE Bile-ća	VE Bile-ća	HE Bile-ća	HE Sastav-ci	VE Trusi-na	VE Hr-gud	VE Gre-bak	SE Trebi-nje	HE Dabar	SE Hodo-vo
SC0	2024	35	55						66			92
	2029	35	55				49,5		66		176	92
	2033	35	55		33	17	49,5	48	66	152	176	184
SC1 Solar	2024	35	55						66			92
	2029	35	55				49,5		66		176	92
	2033	35	110		33	17	49,5	48	66	152	176	184
SC1 Vjetro	2024	35	55						66			92
	2029	35	55				49,5		66		176	92
	2033	35	55	55	33	17	49,5	48	66	152	176	184
SC2 Solar	2024	35	55						66			92
	2029	35	110		33	17	49,5	48	66	152	176	184
	2033	35	165		33	17	49,5	48	66	152	176	276
SC2 Vjetro	2024	35	55						66			92
	2029	35	55	55	33	17	49,5	48	66	152	176	92
	2033	52,5	55	110	33	17	49,5	48	66	152	176	184

U analizama gubitaka i analizama očekivane neisporučene energije u prenosu električne energije satna proizvodnja hidroelektrana modelovana je na bazi očekivane dnevne proizvodnje, bazirane na srednjim dnevnim vrijenostima dotoka.

Proizvodnja je prognozirana u satima sa najvećom potrošnjom u sistemu. Satna proizvodnja novih vjetroelektrana je „preslikana“ sa postojećih vjetroelektrana Mesihovina, Jelovača i Podveležje, proporcionalno instalisanoj snazi novih elektrana. Satna proizvodnja solarnih elektrana prognozirana je proporcionalno intenzitetu sunčevog zračenja po satima i instalisanim

snagama elektrana, a redukovana je u skladu sa srednjim brojem kišnih dana koji se mjesečno očekuju na području Istočne Hercegovine. U proračunu gubitaka modelovana je satna promjena temperature okoline i intenziteta sunčevog zračenja, dok je usvojena pretpostavka da je pojava vjetra u korelaciji sa radom vjetroelektrana. U proračunu gubitaka uzeti su u obzir samo gubici na DV 110 kV Bileća – Trebinje, dok je promjena gubitaka na ostalim elementima mreže zavisno od varijante rekonstrukcije zanemarena. Satne vrijednosti temperature i sunčevog zračenja su modelovane na osnovu mjesečnih srednjih vrijednosti prema literaturi [4], [5], [6] modelovanjem dnevnih oscilacija radi dostizanja maksimalnih vrijednosti. Detalji ovog proračuna prevazilaze obim ovog rada.

Za potrebe analiza razmatrana je samo grana Bileća – Trebinje 1. Zahvaljujući činjenici da je potrošnja na mreži 110 kV u regiji Istočne Hercegovine za red veličine manja od snage planiranih proizvodnih objekata, injektirana snaga u granu Bileća – Trebinje 1 je računata kao zbir doprinosa snage pojedinih izvora, što odgovara DC modelu mreže prema literaturi [1]. Doprinosi su izračunati na bazi ljetnjeg maksimuma sa povoljnom hidrologijom gdje je za svaki od izvora od interesa izračunat porast tokova po vodu 110 kV Bileća – Trebinje 1 za povećanje snage od 10 MW.

3 MODELOVANJE AMBIJENTALNIH USLOVA U PRORAČUNIMA

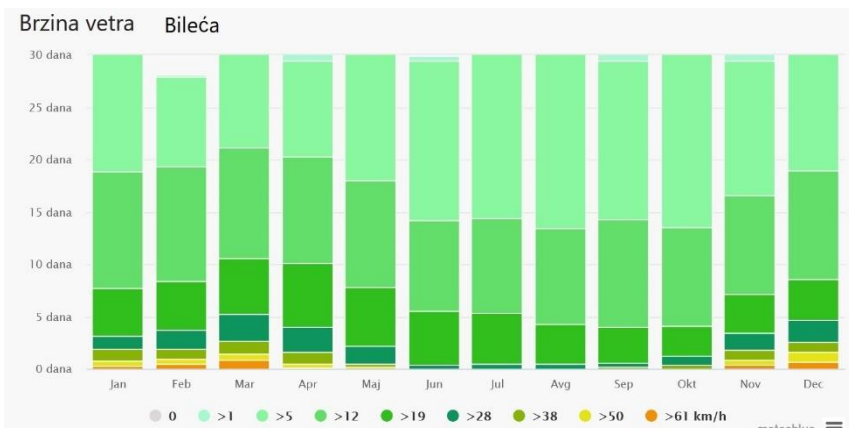
Za potrebe proračuna bilo je potrebno modelovati ambijentalne uslove i opterećenje dalekovoda za svaki sat u godini. Prema podacima iz literature [6] najviša očekivana temperatura vazduha na trasi dalekovoda i u regiji iznosi +40°C, a najniža -16°C. U sjevernom, planinskom dijelu regije od interesa, najniže godišnje temperature su još manje i još su izraženije kišne i sniježne padavine. Vjetrovi su dominantno po pravcu sjever-sjeveroistok-jug-jugozapad i sjever-jug. Područje Bileće i Trebinja je sa nižim intenzitetom i učestanošću vjetra, dok je u planinskom dijelu regije (područja Gacka, Berkovića i Nevesinja) izražen potencijal za izgradnju vjetroelektrana.

Za područje Bileće prema [4], [5] za proračune su korišćeni klimatološki podaci iz Tabele II.

Tabela II: Klimatološki podaci za područje Bileće

<i>Bileća</i>	<i>Srednja maksimalna temperatura (°C)</i>	<i>Srednja minimalna temperatura (°C)</i>	<i>Kišne padavine (mm)</i>	<i>Sniježne padavine (mm)</i>	<i>Broj dnevnih sati</i>	<i>Broj sunčanih sati</i>
januar	9,4	5,8	89	0	9,4	5,7
februar	10,3	6,1	72	3	10,6	5,6
mart	12,7	8,4	66	0	12	7,7
april	15,8	11,3	68	0	13,4	10,2
maj	19,5	14,3	51	0	14,7	11
juni	23,8	18,1	38	0	15,3	11,6
juli	26,9	20,6	22	0	15	12
avgust	27,9	21,8	24	0	13,9	12,1
septembar	23,4	18,2	54	0	12,5	10,4
oktobar	19,1	14,7	80	0	11	7,8
novembar	15,4	11,9	165	0	9,8	6,1
decembar	10,8	7,2	98	0	9,1	5,9

Maksimalni intenzitet sunčevog zračenja iznosi oko 1000 W/m^2 , izračunat prema literaturi [3]. Učestanost i intenzitet vjetra je prikazan na Slici 1.



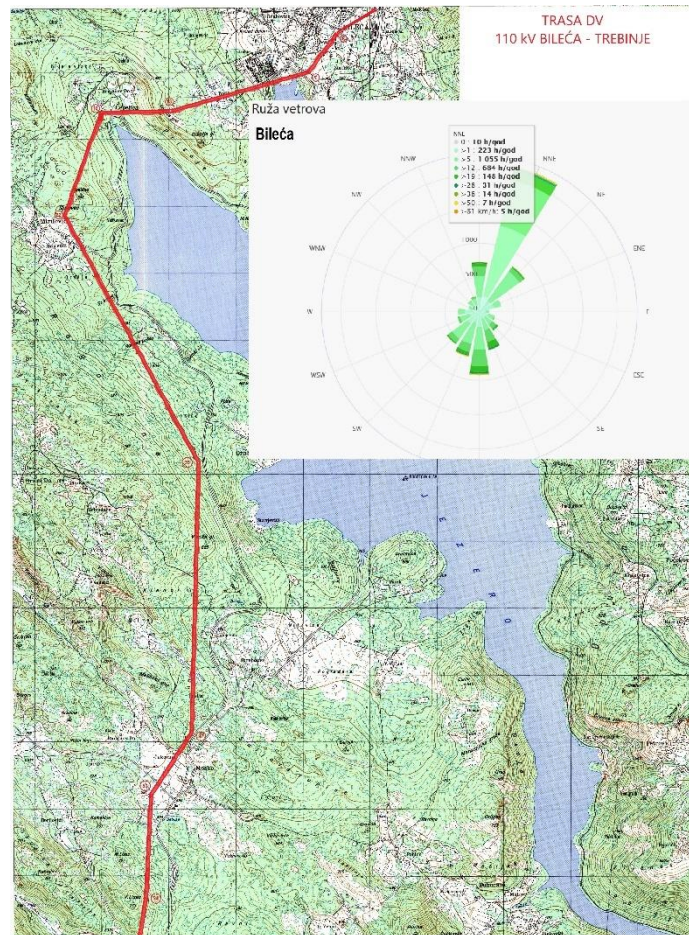
Slika 1: Učestanost i intezitet vjetra za područje Bileće prema literaturi [5]

Slični podaci u pogledu vjetra, temperatura i sunčevog zračenja su i za područje Trebinja, s tom razlikom da je u na tom području znatno veća količina padavina.

Za proračune gubitaka električne energije, kao ulazni podaci, korišćeni su podaci o temperaturi vazduha, vjetru i intenzitetu sunčevog zračenja. S obzirom na to da nisu bili dostupni podaci o satnim vrijednostima za cijelu godinu iz neke od meteoroloških stanica na području od interesa, bilo je potrebno napraviti model na bazi raspoloživih podataka. Temperatura je modelovana na bazi srednjih mjesečnih maksimalnih temperatura uz dnevnu oscilaciju (A_1) od 5°C , mjesečnu oscilaciju (A_2) od 5°C i slučajnu oscilaciju temperature (A_3) od 2°C prema jednačini (1).

$$T_a(t, T) = \begin{cases} T_{sr\ mj\ max} + A_1 ch\left(\frac{t-9}{24}\right) + A_2 \sin\left(\frac{T}{720}\right) + A_3 \cdot rand(T), & \text{za } t < 12 \\ T_{sr\ mj\ max} + A_1 ch\left(\frac{t-21}{24}\right) + A_2 \sin\left(\frac{T}{720}\right) + A_3 \cdot rand(T), & \text{za } t > 12 \end{cases} \quad (1)$$

Radi određivanja prenosne moći za Varijantu 0 određena je ekvivalentna proračunska brzina vjetra pod uglom od 90° koja odgovara maksimalnom strujnom opterećenju voda na raličitim pravcima dalekovoda za senzorske sisteme postavljene na tim lokacijama. Na Slici 2 je prikazana situacija trase dalekovoda i podaci o učestalosti i brzini vjetra po pojedinim pravcima. Proračun je izvršen pri brzinama vjetra koje su značajne za rad vjetroelektrana odnosno kada je brzina vjetra na visini do 10 m veća od $3,3 \text{ m/s}$.



Slika 2: situacija trase dalekovoda i ruža vjetrova

Dozvoljena struja provodnika se dobija iz jednačine termičke ravnoteže prema literaturi [2] za zadate ambijentalne uslove i uz uslov da temperatura provodnika dostiže maksimalnu dozvoljenu temperaturu provodnika:

$$P_g + P_s = P_{konv} + P_{rad} \quad , \quad (2)$$

gdje je:

P_g – snaga Džulovih gubitaka u provodnicima koja zavisi od temperature provodnika,

P_s – snaga apsorbirane toplote sunčevog zračenja koja zavisi od intenziteta zračenja i koeficijenta apsorpcije površine provodnika,

P_{konv} – snaga toplotnih gubitaka odvedenih konvekcijom, u složenoj zavisnosti od brzine i pravca vjetra, temperature okoline i prečnika provodnika,

P_{rad} – snaga toplotnih gubitaka odvedenih zračenjem, proporcionalna četvrtom stepenu temperature provodnika i proporcionalna koeficijentu emisije provodnika.

Ekvivalentna dozvoljena struja dalekovoda od 462,13 A je određena za brzinu vjetra od 3,33 m/s, uzevši u obzir učestanost vjetra ove brzine po pojedinim pravcima:

$$I_{doz\ ekv} = \sum c_i \cdot I_{dozi} \quad (3)$$

gdje je c_i učestanost vjetra za pojedini pravac, a I_{dozi} dozvoljena struja dalekovoda.

Rezultati proračuna su prikazani u Tabeli III.

Tabela III: Proračun strujne opteretivosti za brzinu vjetra od 3,33 m/s za uže Al/Č 150/25

Pravac vjetra	Brzina vjetra (m/s)			Učestalost vjetra po pravcima c_i	Dozvoljena struja $v > 3,33$ (računato sa 3,33 m/s) po dionici voda					
	<1,33	1,33-3,33	>3,33		Bileća grad (5-7)	Mirilo-vići (22-35)	Žudoje-vići (35-47)	Mosko (47-50)	Jasen (59-65)	I_{dozi}
NNE	233	1055	889	37,37%	483,44	633,05	517,27	519,04	462,91	462,91
S	217	329	382	16,06%	633,05	633,05	433,47	695,93	496,1	433,47
SSE	100	181	294	12,36%	633,05	454,65	633,05	695,93	633,05	454,65
N	214	305	204	8,58%	633,05	633,05	433,47	695,93	496,1	433,47
SSW	157	325	193	8,11%	483,44	633,05	517,27	519,04	462,91	462,91
SE	107	125	111	4,67%	633,05	500,42	633,05	695,93	633,05	500,42
SW	212	275	98	4,12%	475,12	633,05	633,05	532,76	633,05	475,12
NE	196	526	95	3,99%	475,12	633,05	633,05	532,76	633,05	475,12
WSW	143	145	37	1,56%	633,05	633,05	633,05	695,93	633,05	633,05
NNW	103	94	37	1,56%	633,05	454,65	633,05	695,93	633,05	454,65
ESE	134	89	15	0,63%	633,05	633,05	633,05	695,93	633,05	633,05
NW	125	66	10	0,42%	633,05	500,42	633,05	695,93	633,05	500,42
W	203	100	6	0,25%	633,05	633,05	633,05	695,93	633,05	633,05
ENE	219	105	3	0,13%	633,05	633,05	633,05	695,93	633,05	633,05
E	93	47	3	0,13%	633,05	633,05	633,05	695,93	633,05	633,05
WNW	101	57	2	0,08%	633,05	633,05	633,05	695,93	633,05	633,05
8760	2557	3824	2379						I_{dozekv}	462,13

Ekvivalentna strujna opteretivost dalekovoda I_{doz} za uže Al/Č 150/25 je određena tako da su izračunate maksimalne struje po pojedinim karakterističnim pravcima dalekovoda pri kojima se postiže temperatura provodnika od 80°C, uzevši u obzir ugao koji pravac vjetra zaklapa sa provodnicima voda po pojedinim dionicama. Iz pregleda je vidljivo da je za svaki pravac vjetra kritična dionica na kojoj dolazi do djelovanja vjetra duž provodnika, dok se najpovoljniji uslovi hlađenja ostvaruju pri djelovanju vjetra okomito na pravac prostiranja voda.

Zatim je za svaki pravac vjetra određena minimalna dozvoljena struja s obzirom na kritičnu dionicu dalekovoda. Ekvivalentna brzina vjetra je određena iz jednačine termičke ravnoteže (2) gdje je snaga Džulovih gubitaka u provodniku izračunata sa strujom I_{dozekv} , a za hlađenje konvekcijom se uzima da je smjer vjetra okomit na pravac provodnika. Na osnovu navedenog, dobija se ekvivalentna brzina vjetra okomito na pravac provodnika od 0,85 m/s za stvarnu brzinu vjetra od 3,33 m/s.

Za intenzitet sunčevog zračenja je usvojeno da iznosi 1000 W/m² u satima kada postoji angažman solarnih elektrana, a kada je prognozirano da one ne rade je uzeto da iznosi 0 W/m². Kada je udio rada vjetroelektrana u ukupnoj proizvodnji manji od 14% uzeto je da nema vjetra, odnosno proračun je rađen sa brzinom vjetra od 0,6 m/s okomito na pravac provodnika. Kada je udio vjetroelektrana u ukupnoj proizvodnji veći od 14% uzeto je da brzina vjetra iznosi 0,85 m/s.

4 PRORAČUN GUBITAKA

Proračun gubitaka je rađen za vod koji je predmet rekonstrukcije, direktnom primjenom jednačine (6). Za potrebe proračuna strujnog opterećenja dalekovoda iz maksimalnog ljetnjeg režima određeni su koeficijenti učešća pojedinih elektrana u opterećenju dalekovoda, pa je ukupno opterećenje dalekovoda izračunato kao:

$$P = \sum_i^n k_i \cdot G_i, \quad (4)$$

gdje je $k_i = \frac{\Delta P}{\Delta G_i}$, a G_i – snaga generisana iz i -te elektrane.

Radi jednostavnosti, svi proračuni tokova snaga su rađeni za postojeće stanje na dalekovodu uz odgovarajuće parametre podužne impedanse. Pretpostavljeno je da su tokovi reaktivnih snaga konstantni i da iznose 10 MVar, dok je napon takođe pretpostavljen kao konstantan sa vrijednošću 110 kV.

Fazna struja provodnika je izračunata iz jednačine:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (5)$$

Na osnovu izračunate struje provodnika i pretpostavljenih parametara okoline, primjenom metodologije iz literature [2], iz jednačine (1) izračunata je temperatura provodnika T i otpornost provodnika $R(T)$. Konačno, gubici se za svaki sat u godini su izračunati kao:

$$W(t) = 3 \cdot I^2(t) \cdot R(T, t). \quad (6)$$

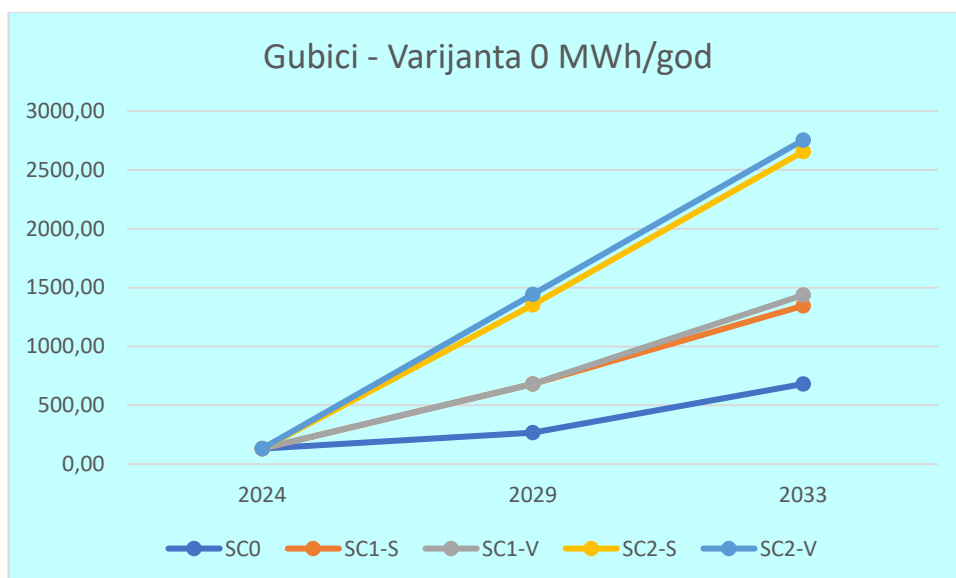
Aproksimacije korišćene pri proračunima su na stranu sigurnosti, odnosno na štetu Varijante 0, jer bi se sa smanjenjem impedanse koje se događa kod ostalih varijanti povećali tokovi snaga po dalekovodu 110 kV Bileća – Trebinje 1. Takođe radi jednostavnosti, pretpostavljeno je da su pri proračunu gubitaka tokovi jednaki na svim dionicama DV 110 kV Bileća – Trebinje 1, što je takođe aproksimacija „na štetu” Varijante 0, jer su kod ove varijante gubici najveći pa je time i uticaj na rezultate tehnokonomске analize kod ove varijante rekonstrukcije najveći. Rezultati proračuna gubitaka na dalekovodu za različite scenarije razvoja proizvodnje i različite varijante rekonstrukcije voda su prikazani u Tabeli IV i izdvojeno za Varijantu 0 na Slici 3.

Tabela IV: Rezultati proračuna gubitaka

Scenario	Ukupni gubici MWH/god	Varijanta 0	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3
SC0	2024	132,30	103,71	129,14	112,66
	2029	267,86	209,69	261,45	227,87
	2033	680,87	532,56	665,03	581,95
SC1-Solar	2024	132,30	103,71	129,14	112,66
	2029	680,87	532,56	665,03	581,95
	2033	1345,08	940,41	1303,13	1068,70
	2024	132,30	103,71	129,14	112,66

Scenario	Ukupni gubici MWh/god	Varijanta 0	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3
SC1-Vjetro	2029	680,87	532,56	665,03	581,95
	2033	1435,14	1008,32	1390,15	1145,58
SC2-Solar	2024	132,30	103,71	129,14	112,66
	2029	1351,17	1034,77	1317,37	1128,45
	2033	2654,43	1978,76	2585,89	2177,26
SC2-Vjetro	2024	132,30	103,71	129,14	112,66
	2029	1441,39	1107,85	1405,14	1208,05
	2033	2751,78	2055,96	2680,80	2260,67

Kao najizraženiji, izdvojeni su gubici za Varijantu 0, po godinama i za različite scenarije razvoja proizvodnje, prikazani na Slici 3.



Slika 3, Prikaz godišnjih gubitaka električne energije za Varijantu 0

5 PRORAČUN NEISPORUČENE ENERGIJE U NORMALNOM POGONU

Neisporučena energija je određena za sve varijante rekonstrukcije dalekovoda tako što se za svaki sat u godini, u slučaju prekoračenja maksimalne temperature provodnika (za Varijantu 0: 80°C, za Varijantu 1: 80°C, za Varijantu 2: 120°C i za Varijantu 3: 180°C) računa razlika struje za koju treba smanjiti tokove snaga po dalekovodu, a zatim i iznos snage SE Bileća za koji je potrebno umanjiti proizvodnju da bi se dalekovod dovoljno rasteretio (izrazi (7)-(9)).

$$\Delta I = I - CCC(t_{max}, t_a, I_s, v_v) \quad (7)$$

$$\Delta P = \frac{\Delta I \cdot U \cdot \sqrt{3}}{k_{SE \text{ Bileća}}} \quad (8)$$

$$\Delta W = \sum \Delta P \cdot \Delta T, \quad (9)$$

gdje je:

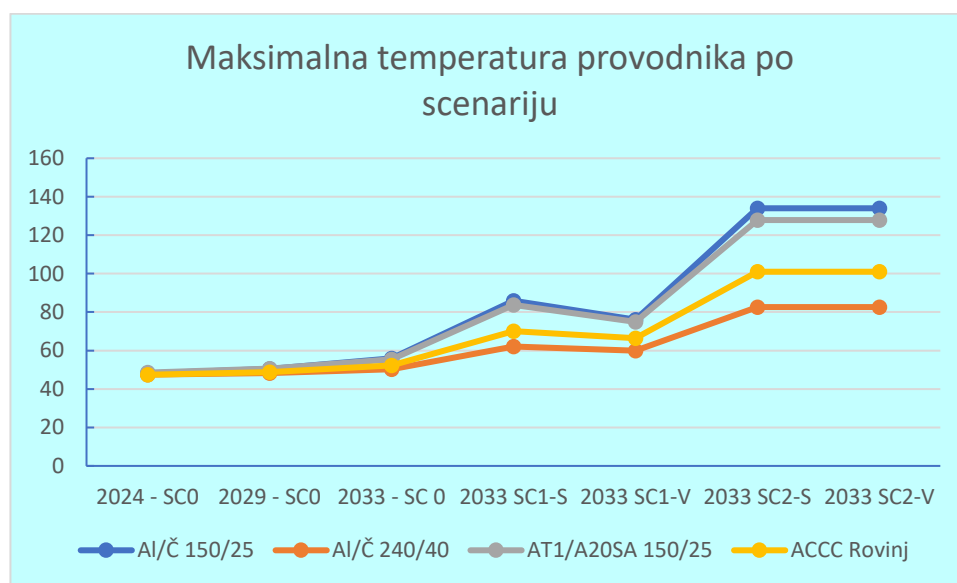
I (A) – strujno opterećenje dalekovoda u datom satu,

CCC (A) – maksimalna struja pri kojoj se u datom satu sa ambijentalnim uslovima: temperaturom ambijenta (t_a), jačinom sunčevog zračenja (I_s) i brzinom vjetra (v_w), postiže maksimalna temperatura provodnika (t_{max}),

U (V) – napon, koji se na osnovu proračuna tokova snaga kreće u granicama od 110 kV do 116 kV, uzima kao konstantan i jednak onom koji je pri maksimalnim tokovima snaga,

$k_{SE\ Bileća}$ – koeficijent iz jednačine (4) za SE Bileća.

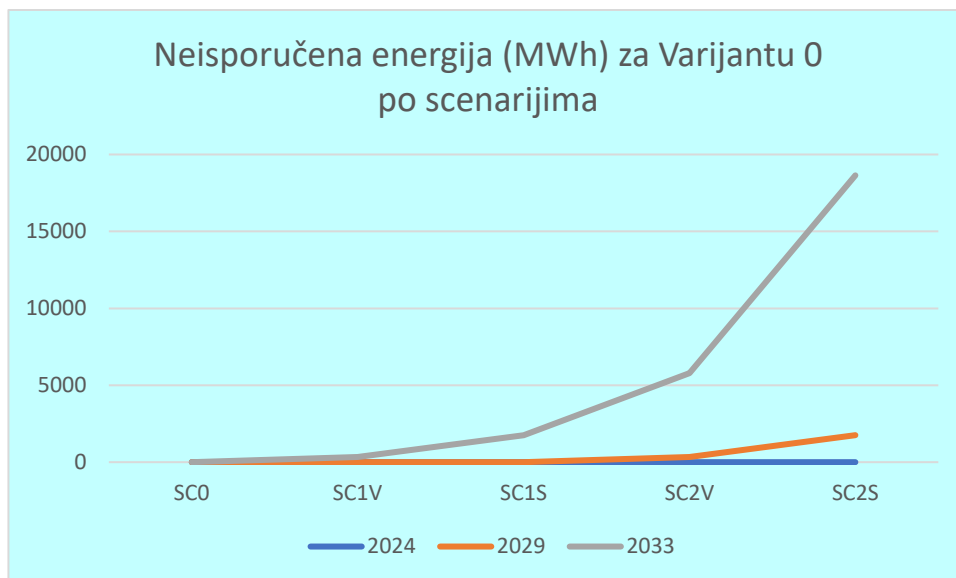
Na Slici 4. su prikazana je maksimalna temperatura provodnika po scenariju.



Slika 4, Rezultati proračuna: maksimalna temperatura provodnika po scenariju

Rezultati proračuna pokazuju da u posmatranim scenarijima razvoja proizvodnje kod Varijante 3 ne bi dolazilo do potrebe za ograničavanjem proizvodnje. Kod Varijanti 1 i 2 u Scenariju 2 sa intenzivnim razvojem solarnih elektrana procijenjena je neisporučena energija od 29 MWh, odnosno 66 MWh godišnje. Značajne vrijednosti neisporučene energije su dobijene u Varijanti 0. Prikaz neisporučene energije u Varijanti 0 po scenarijima razvoja proizvodnje dat je na Slici 5.

U uslovima prirodnog hlađenja, pri maksimalnom sunčevom zračenju, što predstavlja kritičan slučaj koji se događa pri punom angažmanu solarnih elektrana, prenosna moć voda je najniža. Varijanta 3 u ovom slučaju omogućava gotovo trostruku prenosnu moć u odnosu na Varijantu 0, dok Varijanta 1 i Varijanta 2 omogućavaju približno jednaku prenosnu moć i gotovo dvostruku prenosnu moć u odnosu na Varijantu 0 (Tabele V, VI i VII). Sa opadanjem temperature okoline ove razlike se značajno smanjuju, a naročito prednost Varijante 3 u odnosu na varijante 1 i 2. Ovo je značajno kada se uzme u obzir da je Varijanta 0 predviđena da radi sa sistemom za nadzor temperature provodnika koji bi omogućio njeno maksimalno iskorišćenje. Kod ostalih varijanti odgovarajući efekti se mogu postići odgovarajućim sezonskim podešenjima zaštita od preopterećenja dalekovoda.



Slika 5: Neisporučena energija (MWh) za Varijantu 0 po scenarijima

Tabela V: Prenosna moć voda u dnevnim uslovima bez vjetra za različite varijante rekonstrukcije

Varijanta	Temeperatura okoline (°C), Is= 1000 W/m², v _v =0,6 m/s							Prenosna moć, pri Un= 110 kV (MVA), t _a =+35°C
	-10	0	10	20	30	35	40	
	I _{CCC} (A) zavisno od temperature okoline							
Varijanta 0	551	508	461	409	348	311	267	59
Varijanta 1	880	828	771	709	641	603	563	115
Varijanta 2	740	712	682	651	618	600	579	114
Varijanta 3	997	973	949	923	897	883	869	168

Tabela VI: Ekvivalnetna prenosna moć voda danju pri vjetru brzine 3,33 m/s

Varijanta	Temeperatura okoline (°C), Is= 1000 W/m², v _v =0,85 m/s							Prenosna moć, pri Un= 110 kV (MVA), t _a =+35°C
	-10	0	10	20	30	35	40	
	I _{CCC} (A) zavisno od temperature okoline							
Varijanta 0	598	548	498	441	376	339	294	64
Varijanta 1	947	890	830	764	692	652	609	124
Varijanta 2	793	763	731	698	662	643	624	122
Varijanta 3	1064	1038	1012	985	956	941	926	179

Tabela VII: Ekvivalnetna prenosna moć voda noću pri vjetru brzine 3,33 m/s

Varijanta	Temeperatura okoline (°C), Is= 0 W/m², v _v =0,85 m/s							Prenosna moć, pri Un= 110 kV (MVA), t _a =+35°C
	-10	0	10	20	30	35	40	
	I _{CCC} (A) zavisno od temperature okoline							
Varijanta 0	627	578	530	477	418	384	348	73
Varijanta 1	985	931	874	811	743	706	667	134
Varijanta 2	814	784	753	721	686	668	650	127
Varijanta 3	1080	1055	1029	1002	974	960	945	183

6 ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA I ZAKLJUČCI

U nedostatku specijalizovanih softvera za analizu gubitaka i tržišne analize u Elektroprenosu BiH, za potrebe tehnoekonomske analize različitih varijanti rekonstrukcije dalekovoda 110 kV autori su razvili vlastiti pristup izračunavanju gubitaka električne energije i procjeni neisporučene energije iz obnovljivih izvora energije, koristeći pojednostavljenja koja je bilo moguće koristiti zahvaljujući osobinama mreže u regiji od interesa koja je predmet analize. Pojednostavljenja u analizama mreže i metode proračuna gubitaka su djelimično preuzete iz literature [1].

Proračun temperature provodnika i snage gubitaka na vodu je izvršen u programskom jeziku MATLAB direktnom primjenom metodologije [2], dok je proračun struje voda i analiza prekoračenja strujne opteretivosti, na bazi satnog angažovanja elektrana rađena u programu MS EXCEL.

Pri samoj tehnoekonomskoj analizi uticaj gubitaka se pokazao kao relativno mali u odnosu na direktne troškove rekonstrukcije, dok je proračun neisporučene energije bio presudan za eliminaciju Varijante 0 u scenarijima sa visokom izgrađenošću novih izvora u posmatranoj regiji.

Iz naprijed navedenih razloga autori nisu imali mogućnost poređenja rezultata izračunatih po vlastitoj metodologiji u odnosu na druge komercijalno dostupne softverske alate.

7 LITERATURA

- [1] Ivan A. Škokljev, Planiranje elektroenergetskih sistema, Taurus Publik Beograd, 2000, str. 230-236, 252-265
- [2] CIGRÉ WG 22.12, Thermal Behaviour of overhead conductors, 2002
- [3] IEEE Standard 738 - 1993
- [4] www.aladin.info/sr/bosna-i-hercegovina/bileca-klima
- [5] www.meteoblue.com/sr/vreme/historyclimate/climatemodelled/Билећа_Босна-и-Херцеговина
- [6] www.eurokodovi.ba