

Tehno-ekonomska analiza primene specijalnih provodnika tipa *HTLS* zbog povećanja prenosne moći dalekovoda 110kV radi priključenja SE snage 50MW

Uroš Jovanović, Ivica Bačvanski

ELEM&ELGO d.o.o.

Beograd, republika Srbija

uros.jovanovic@elemelgo.rs, ivica.bacvanski@elemelgo.rs

Sažetak—Na primeru jednog praktičnog problema iz prakse, koji se odnosi na priključenje dve solarne elektrane pojedinačnih snaga 50 MW na dalekovod 110 kV koji nema kapacitete za priključenje obe, već samo jedne elektrane, analizira se povećanje prenosne moći dalekovoda zamenom postojećeg provodnika HTLS provodnikom. Da bi se došlo do optimalnog predloga, sa tipskim provodnikom se tehnički porede različiti specijalni provodnici, ali i rešenje koje podrazumeva izgradnju novog dalekovoda sa tipskim provodnikom veće prenosne moći. Analiza obuhvata neophodne mehaničke i temperaturne proračune, realnu izvodljivost različitih varijantnih rešenja, investiciona ulaganja, uklapanje u postojeće stanje EES-a, kao i vreme potrebno za izvođenje radova.

Ključne reči – *provodnik; HTLS; povećanje kapaciteta; analiza*

I. UVOD

U cilju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, Investitor *KIMA SOLAR d.o.o.* namerava da izgradi solarnu elektranu sa maksimalno 50 MW ukupne instalisane snage. Planirana solarna elektrana biće locirana u blizini grada Sjenica. Za potrebe priključenja solarne elektrane na elektroenergetski sistem, Investitor je zajedno sa operatorom prenosnog sistema *AD EMS* razmatrao trenutno stanje mreže i mogućnosti priključenja *SE* na prenosni sistem. Kao mogući način priključenja predložena je veza na postojeći DV 110kV br. 189 Novi Pazar - Sjenica, po principu *ulaz-izlaz*. Radi se o jednosistemskom vodu sa alu-čeličnim provodnikom Al-Če 150/25 mm², koji je izgrađen pre oko 40 godina. Prema preliminarnim podacima, postojeći dalekovod trenutno može preuzeti opterećenje iz novih proizvodnih kapaciteta od 50 MW.

S obzirom na to da je u toku razvoj sličnog projekta na istom području, potrebno je razmotriti mogućnosti za povećanje prenosnog kapaciteta postojećeg voda za oko 50 MW, i priključenje obe novoplanirane solarne elektrane, što je ujedno i predmet ove tehno-ekonomske analize.

II. METODOLOGIJA

A. Opis metodologije

Polazeći od potrebe za proširenjem prenosnih kapaciteta postojećeg DV 110 kV br. 189 projektant se na samom početku odlučio za analiziranje dva metodološki različita rešenja.

Jedno rešenje podrazumeva kompletnu rekonstrukciju postojećeg dalekovoda, sa zamenom svih komponenti (uključujući i stubove) na DV 110 kV br. 189, što bi omogućilo primenu tipskih provodnika u elektroenergetskom sistemu Republike Srbije, u cilju postizanja dovoljnog prenosnog kapaciteta.

Drugo rešenje, međutim, obuhvata samo zamenu provodnika u cilju povećanja kapaciteta voda, a uz zadržavanje ostale postojeće infrastrukture. U skladu sa tim, projektant je analizirao „specijalne provodnike“ tipa HTLS (*High Temperature Low Sag*), koje karakteriše veća prenosna moć i drugačiji mehanički parametri zahvaljujući primeni različitih materijala, posebnoj konstrukciji jezgra i drugačijim proizvodnim tretiranjem provodnog dela užeta. Stoga oni mogu da rade na značajno višim radnim temperaturama u odnosu na konvencionalne alu-čelične provodnike, a uz zadržavanje istih ili sličnih ugiba u rasponu.

Imajući ovo u vidu, razmatrana su i u nastavku pobrojana neka od mogućih rešenja koja bi zadovoljila ovaj osnovni postavljeni kriterijum:

1. Primena tipskog provodnika u mreži *AD EMS* – Al-Če (ACSR) 240/40 mm²; ovaj provodnik zahteva kompletnu zamenu infrastrukture, odnosno svih elemenata dalekovoda, uključujući stubove;
2. Primena specijalnih (HTLS) provodnika: 1) ACSS, 2) ACCR, 3) ACCC, 4) ACFR.

Provodnik Al-Če (ACSR) 240/40 mm² je tipski u mreži *EMS* i iziskuje zamenu svih stubova i temelja, kao i kompletne elektro-opreme. Ovaj predlog podrazumeva zamenu postojećih stubova tipa *jela* dimenzionisanih za primenu provodnika tipa Al-Če 150/25 mm² čelično-rešetkastim dvosistemskim stubovima tipa *bure*, koji su dimenzionisani prema provodnicima Al-Če 240/40 mm², pri čemu bi se opremio samo

jedan sistem, što je očekivani zahtev operatora prenosnog sistema. Ovo rešenje je standardno u srpskom elektroenergetskom sistemu i nije detaljno opisivano u nastavku analize, već su izložene njegove ekonomske pojedinosti, kao i vreme potrebno za njegovu realizaciju.

Svi nabrojani „specijalni“ provodnici ispunjavaju kriterijum neophodne prenosne moći. Kod provodnika iz HTLS grupe, razlikujemo dve podgrupe, jer provodnici označeni brojevima 1 i 2 ne spadaju u tipične HTLS provodnike, s obzirom na to da ih na većim radnim temperaturama karakterišu i nešto veći ugibi, što je određeno konstrukcijom njihovog jezgra. Provodnici označeni brojevima 3 i 4 spadaju u potpuno HTLS provodnike.

B. Prikaz izvedenih proračuna

U okviru tehničke analize varijantnih rešenja biće izvršeni toplotni i mehanički proračuni, kako bi se postojeće stanje (prenosna moć) DV 110 kV br. 189 moglo validno porediti sa predlozima koji podrazumevaju primenu „specijalnih“ HTLS provodnika.

Temperaturni proračuni vrše se na osnovu maksimalnih strujnih opterećenja koja se mogu javiti na dalekovodu, a usled priključenja novih proizvodnih kapaciteta. Pošto je operator prenosnog sistema zaključio da postojeći DV 110 kV br. 189 može u ovom trenutku da se opteretiti sa dodatnih 50 MW, potrebno je na maksimalnu vrednost struje za provodnik Al-Če 150/25 mm² (vrednost struje za ovaj tipski provodnik data je za zimske i letnje uslove internim Tehničkim uputstvom AD EMS TU-DV-04), dodati struju koja potiče od preostalih 50 MW predviđenih za priključenje. Analizirano je ponašanje provodnika u zimskim i letnjim uslovima, kako bi se dobila kritična temperatura užeta za zadato strujno opterećenje. Kasnije se prema proračunatim maksimalnim temperaturama provodnika proračunavaju ugibi, poredi sa trenutnim ugibima provodnika Al-Če 150/25 mm² i posmatraju minimalna rastojanja prema objektima i terenu. Temperaturni proračuni provodnika izvršeni su pomoću softverskog alata *PLS-CADD*, korišćenjem modula thermal calculations, gde je proračun baziran na standardu IEEE 738-2012.

Mehanički proračuni vrše se za krivu lančanice pomoću softverskog alata *PLS-CADD*. Potrebno je odrediti naprezanja provodnika za predložene varijante sa HTLS provodnicima. Za tipski provodnik naprezanja se određuju prema snimljenom stanju. Usvojena naprezanja za HTLS provodnike određena su na osnovu uslova iz [4], i to: razmak u sredini raspona, zahtevana zaštitna zona zaštitnog užeta, odnos koeficijentata sigurnosti za provodnik i zaštitno uže, ali i na osnovu odnosa ugiba novog i tipskog provodnika.

Ekonomski proračuni (investicioni troškovi) vrše se na osnovu trenutnih cena opreme i rada na tržištu, kao i na osnovu dosadašnjeg iskustva autora sa sličnih projekata za 110 kV naponski nivo.

Procena vremena potrebnog za izvođenje radova vrši se na osnovu dosadašnjeg iskustva autora sa sličnih projekata, gde su bile prisutne slične aktivnosti, kao i na osnovu procena izvođača radova.

C. Polazne pretpostavke

Za potrebe izrade tehno-ekonomske analize usvojena je **dužina dalekovoda prema osnovnoj tehničkoj dokumentaciji** od 52.2 km za sve varijante, a sve cene su svedene na ovu dužinu. Rangiranje varijanti ne zavisi od manjih odstupanja od ove dužine, odnosno svi zaključci doneseni na osnovu ovakve analize se mogu smatrati potpuno relevantnim.

Tehnički parametri za projektovanje i pretpostavke za pojedine varijante (prosečan raspon, naprezanja, ugib provodnika, itd.) su definisani na osnovu važeće tehničke regulative i iskustva sa sličnih vodova, kao i na osnovu konkretnih podataka o terenu, tipovima stubova i standardnim rezultatima proračuna.

Karakteristike opreme, koja je ista za sve varijante (ovesna oprema, izolatori, uzemljivački sistem, stubovi), uglavnom su standardne za vodove 110 kV u mreži *AD EMS*. Nestandardna rešenja se odnose pre svega na provodnike, kao i na deo elektromontažnih radova.

Klimatski parametri za dalekovod su poznati za predmetno područje i usvojeni su prema [2].

U tabeli 1 prikazani su zimski i letnji klimatski uslovi usvojeni za temperaturne proračune, a u skladu sa [3].

TABELA I. KLIMATSKI USLOVI LETO/ZIMA

Parametar	Letnji uslovi	Zimski uslovi
Ambijentalna temperatura (°C)	35	15
Brzina vetra (m/s)	0.6	1
Snaga sunčevog zračenja (W/m ²)	1000	800

D. Primenjeni softverski alat

Modelovanje trenutnog stanja DV 110kV br. 189, kao i ispitivanje provodnika tipa ACSS i ACCC izvršeno je programskim alatom *PLS-CADD*. Prvo su izvršeni detaljni temperaturni proračuni temperatura svih provodnika u zimskim i letnjim uslovima prema potencijalnim maksimalnim strujnim opterećenjima, a u skladu sa [3]. Zatim su izvršeni mehanički proračuni za potrebe analize ugiba i sigurnosnih visina i rastojanja u odnosu na objekte i teren u rasponima, a prema zadatim kriterijumima maksimalnih temperaturnim opterećenja.

Za potrebe modelovanja izvršena su geodetska snimanja [7] stvarnog stanja postojećeg provodnika, i to u prva i poslednja dva zatezna polja, ne računajući raspone prema portalima (oznake stubova [2], i to: 1-6; 6-10; 194-204; 204-212), koji najbolje opisuju prilike na predmetnom dalekovodu. Uvidom u stvarno stanje dalekovoda na terenu, kao i na osnovu dostupne projektno-tehničke dokumentacije, projektant se odučio da analizira ova zatezna polja, s obzirom na to da ona imaju različite klimatske parametre, nadmorsku visinu i karakteristike reljefa, a upravo se u snimljenim rasponima nalazi najviše objekata preko kojih dalekovod direktno prelazi u odnosu na celokupni vod, pa ih je potrebno i detaljnije proveriti. Na osnovu ovih snimaka izvršeno je modelovanje zatezanja provodnika prema snimljenom stanju lančanice. Kasnije su vrednosti ugiba postojećeg provodnika Al-Če 150/25 mm², dobijene ovim proračunom, poredene sa vrednostima ugiba koje se imaju za primenu HTLS provodnika pri unapred zadatom naprezanju užeta u istim ovim zateznim poljima.

III. INICIJALNA ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMENE HTLS PRVODNIKA

U ovom poglavlju je data i inicijalna analiza mogućnosti primene pojedinih „specijalnih“ provodnika, kako bi se definisala svršishodnost daljih analiza. Rezultat ovih okvirnih analiza je definisan set varijanti za detaljne tehno-ekonomske analize i poređenje.

Kako je navedeno u prethodnom poglavlju, u razmatranje su uzeti sledeći specijalni provodnici:

- 1) ACSS (*Aluminum Conductor Steel Supported*) okvirnog računskog preseka 175 mm^2
- 2) ACCR (*Aluminum Conductor Steel Reinforced*) okvirnog računskog preseka 175 mm^2
- 3) ACCC (*Aluminum Conductor Composite Core*) okvirnog računskog preseka 175 mm^2
- 4) ACFR (*Aluminum Conductor Fiber Reinforced*) okvirnog računskog preseka 175 mm^2

ACSS provodnici su vrlo slični tipskim Al-Če (ACSR) provodnicima, osim što je aluminijumski deo provodnika izrađen od kompletno žarenih Al 1350-0 žica, koje omogućavaju rad na značajno višim temperaturama, bez gubitka čvrstoće i bez trajnog povećanja ugiba. Iako je temperaturno ograničenje zadovoljeno, ovaj provodnik ima u tom slučaju i velike ugibe, praktično ekvivalentne tipskim provodnicima, samo na zadatoj temperaturi provodnika uzrokovanoj većim strujnim opterećenjem.

ACCR provodnici, sa druge strane, imaju ojačano jezgro izrađeno od posebne vrste aluminijuma veće mehaničke čvrstoće u odnosu na prethodnu grupu, pa posledično imaju i znatno manje ugibe pri visokim radnim temperaturama. Ovi provodnici imaju provodni deo izrađen od legure Al-Zr, te imaju i veću električnu provodnost.

Prethodno opisani provodnici imaju iste fizičke karakteristike (presek, prečnik, slična težina) kao tipski primenjeni provodnici Al-Če (ACSR) $150/25 \text{ mm}^2$, pa se mogu ugraditi na postojeće stubove, bez ugrožavanja statičkih zahteva. U tom slučaju upotrebljavala bi se standardna ovesna oprema. Postupak montaže, odnosno elektromontažnih radova, praktično je isti kao za tipske provodnike i nema dodatnih specifičnosti. ACSS provodnici imaju niže cene u odnosu ACCR provodnike, ali i lošiji odnos ugib-visoka radna temperatura. **Stoga se projektant odlučio da detaljno analizira ACSS provodnike**, koji daju dobre rezultate za umerena strujna opterećenja, a značajno su povoljniji od pomenutih ACCR provodnika. Razlog za ovakvu odluku leži u tome što je cena ACCR provodnika i kompletno HTLS provodnika na tržištu praktično ista ili vrlo slična, te se u tom slučaju više isplati primena kompletno HTLS provodnika koji daju još bolje odnose ugib-visoka radna temperatura.

ACCC provodnici poseduju kompozitno jezgro oko kojeg su upredene aluminijumske žice. Kompozitno jezgro preuzima kompletno opterećenje provodnika iznad temperaturne tačke preloma (temperaturnog kolena) i ugib provodnika je nadalje praktično nezavisan od radne temperature provodnika. Ovakva jezgra su laka, sprečavaju bimetalnu koroziju i prouzrokuju manje vibracija provodnika.

ACFR provodnici imaju jako sličnu strukturu Al-Če (ACSR) provodniku, odnosno, razlikuje se samo jezgro, pošto je kod ovog tipa provodnika umesto čelika primenjeno jezgro od karbonskih vlakana sa primesama epoksi smole. Ovako konstruisano jezgro obezbeđuje veliku zateznu čvrstoću i male promene ugiba sa oscilacijom radne temperature. Ovi provodnici imaju nešto bolje performanse u odnosu na ACCC provodnike, pošto u odnosu na njih pre dostižu temperaturnu tačku preloma, što posledično rezultuje i manjim ugibom. I kod jedne i kod druge grupe provodnika postoje specifičnosti tokom izvođenja elektromontažnih radova, iako se upotrebljava ista mehanizacija. Takođe su i neki elementi spojne opreme nestandardni. **Viša cena u odnosu na ACCC provodnike, kao i manjak iskustva u primeni na evropskom tržištu, uticali su na to da se konsultant odluči za detaljnu analizu ACCC užeta**, koje takođe daje odlične rezultate na visokim radnim temperaturama, pogotovu kad se uzme u obzir da radne temperature i jednog i drugog kompletno HTLS provodnika uzrokovane maksimalnim strujnim opterećenjem ne prelaze 70% dozvoljenih temperaturnih ograničenja ovih provodnika. ACCC uže nalazi primenu širom Evrope i Amerike i dostupno je za nabavku na domaćem tržištu.

Imajući napred navedeno u vidu, a uzimajući u obzir zaključke inicijalne analize svih raspoloživih rešenja, kombinovanjem različitih tipova provodnika i drugih elemenata dalekovoda, došlo se do sledećih varijantnih rešenja: **1) Varijanta 1** DV 110 kV sa provodnikom ACSS *Ostrich* i postojećim stubovima, tip „Jela“, **2) Varijanta 2** DV 110 kV sa provodnikom ACCC *Helsinki* i postojećim stubovima, tip „Jela“, **3) Varijanta 3** DV 110 kV sa provodnikom Al-Če $240/40 \text{ mm}^2$ i novim stubovima, tip „Bure“ i opremanjem jednog sistema.

IV. TEHNIČKI OPIS VARIJANTNIH REŠENJA

U ovom poglavlju su opisana varijantna rešenja definisana u prethodnom poglavlju, primenom predložene metodologije i izvođenjem potrebnih proračuna. Za svaku varijantu su procenjeni i investicioni troškovi, na osnovu trenutno raspoloživih informacija i iskustva.

Kako je pomenuto u poglavlju II, za potrebe termičkih proračuna, sada je potrebno definisati maksimalnu pogonsku vrednost struje koja se može javiti na vodu usled priključenja novih kapaciteta snage oko 100 MW. Kako se operator prenosnog sistema izjasnio da DV 110 kV br. 189 trenutno može primiti dodatnih 50 MW, to se za maksimalne pogonske vrednosti struja, koje potiču od trenutnih potreba prenosa, kao i jedne novopriključene solarne elektrane snage 50 MW, u letnjem i zimskom periodu mogu usvojiti vrednosti iz tabele 5 sadržano u [3] za tipski provodnik $150/25 \text{ mm}^2$. Ove vrednosti iznose 414 A i 585 A, respektivno. Struja koja potiče od preostalih 50 MW koje je potrebno priključiti, iznosi oko 262.5 A. Zbirom ovih struja dobijaju se **maksimalne pogonske vrednosti struja** za koje treba analizirati provodnike u zimskim i letnjim uslovima. **Maksimalna temperatura provodnika** je temperatura na koju se provodnik zagreje usled opterećenja maksimalnom pogonskom strujom. U tabeli II prikazane su tehničke karakteristike provodnika predloženih varijantama 1 i 2.

TABELA II. KARAKTERISTIKE PROVODNIKA

Parametar	ACSS Ostrich	ACCC Helsinki
Poprečni presek (mm ²)	176.8	178.6
Prečnik (mm):	17.3	15.7
Podužna masa (kg/km):	610	502
Računska sila kidanja (daN):	4434.9	6890
Toplotni koeficijent širenja provodnog dela (1/°C)	23.04·10 ⁻⁶	23.04·10 ⁻⁶
Modul elastičnosti provodnog dela (daN/mm ²)	0.4662	0.4891
Toplotni koeficijent širenja jezgra (1/°C)	11.52·10 ⁻⁶	16.1·10 ⁻⁷
Modul elastičnosti jezgra (daN/mm ²)	0.2651	0.1761
AC otpornost na 25°C (Ω/km)	0.1838	0.1902
Maksimalna radna temperatura provodnika (°C)	250	180

A. Varijanta 1: provodnik ACSS Ostrich i postojeća familija stubova

Provodnik ACSS Ostrich do sada nije primenjivan u mreži AD EMS na dalekovodima 110 kV. Takođe, postojeća familija stubova je prihvaćena za fizičke karakteristike tipskih provodnika u mreži AD EMS i može se primenjivati bez dodatnih uslova i testiranja. Varijanta 1 predviđa zamenu postojećeg provodnika Al-Ce 150/25 mm² ACSS provodnikom. Ovom zamenom se postiže dovoljan kapacitet voda koji zadovoljava postavljeni kriterijum proširenja kapaciteta opisan u poglavlju II. Predviđena zamena statički ne ugrožava stubove pošto se radi o provodniku istih fizičkih karakteristika, koji je praktično iste podužne težine. Takođe, predviđa se zamena dotrajale spojne opreme novom, ali standardnom ovesnom opremom za 110 kV prenosnu mrežu (izolatorski lanci, prigušivači vibracija,...). Elektromontažni radovi prilikom instalacije i održavanja ovog tipa provodnika ne razlikuju se u odnosu na standardni Al-Ce provodnik. U tabeli II date su tehničke karakteristike provodnika. U tabeli III dati su rezultati (izlazi iz programa PLS-CADD) termičkog proračuna provodnika za zadate vrednosti struja pri napred definisanim zimskim i letnjim uslovima eksploatacije.

TABELA III. REZULTATI TERMIČKOG PRORAČUNA PROVODNIKA

Parametar	Letnji uslovi	Zimski uslovi
Maksimalna pogonska struja (A)	676.5	847.5
Odgovarajuća temperatura provodnika (°C)	124.6	128.7

U tabeli IV dat je opis potrebnih ulaganja u slučaju varijante 1, kao i odgovarajući zbirni troškovi.

TABELA IV. VARIJANTA 1 – POTREBNA ULAGANJA

R. br.	Opis	Zbirna cena (eur)
Oprema i radovi		
1	Provodnik ACSS Ostrich - nabavka Spojna i ovesna oprema za N i UZ stubove – nabavka Demontaža i odvoz opreme Elektromontažni radovi	2,683,068.00
Troškovi Investitora		
2	Odštete – montažni radovi Projektovanje Ostali troškovi	

Dodatno, potrebno je okvirno odrediti vreme potrebno za izvođenje svih elektromontažnih radova potrebnih za realizaciju Varijante 1. **Procenjeno vreme potrebno za predloženu rekonstrukciju: 120 dana.**

B. Varijanta 2: provodnik ACCC Helsinki i postojeća familija stubova

Provodnik ACCC Helsinki je nestandardni provodnik u mreži AD EMS na dalekovodima 110 kV. Takođe, postojeća familija stubova je prihvaćena za fizičke karakteristike ovog provodnika u AD EMS i može se primenjivati bez dodatnih uslova i testiranja. Varijanta 2 predviđa zamenu tipskog provodnika Al-Ce 150/25 mm² sa ACCC uzetom. Ovom zamenom se postiže dovoljan kapacitet voda koji zadovoljava postavljeni kriterijum proširenja kapaciteta opisan u poglavlju 2. Predviđena zamena statički ne ugrožava stubove pošto se radi o provodniku istih fizičkih karakteristika, koji je praktično manje podužne težine. Takođe, predviđa se zamena dotrajale spojne opreme novom, ali standardnom ovesnom opremom za 110 kV prenosnu mrežu (izolatorski lanci, prigušivači vibracija,...). Elektromontažni radovi prilikom instalacije ovog tipa provodnika nešto se razlikuju u odnosu na tipski provodnik u pogledu potrebne mehanizacije za razvlačenje provodnika. Ove specifičnosti posledica su specijalnog karbonskog jezgra, koje je osetljivo na savijanje. U tabeli V dati su rezultati (izlazi iz programa PLS-CADD) termičkog proračuna provodnika za zadate vrednosti struja pri napred definisanim zimskim i letnjim uslovima eksploatacije.

TABELA V. REZULTATI TERMIČKOG PRORAČUNA PROVODNIKA

Parametar	Letnji uslovi	Zimski uslovi
Maksimalna pogonska struja (A)	676.5	847.5
Odgovarajuća temperatura provodnika (°C)	132.7	140.4

U tabeli VI dat je opis potrebnih ulaganja u slučaju varijante 2, kao i odgovarajući zbirni troškovi.

TABELA VI. VARIJANTA 2 – POTREBNA ULAGANJA

R. br.	Opis	Zbirna cena (eur)
Oprema i radovi		
1	Provodnik ACCC Helsinki - nabavka Spojna i ovesna oprema za N i UZ stubove – nabavka Demontaža i odvoz opreme Elektromontažni radovi	3,513,040.00
Troškovi Investitora		
2	Odštete – montažni radovi Projektovanje Ostali troškovi	

Dodatno, potrebno je okvirno odrediti vreme potrebno za izvođenje svih elektromontažnih radova potrebnih za realizaciju Varijante 2. **Procenjeno vreme potrebno za predloženu rekonstrukciju: 120 dana.**

C. *Varijanta 3: Izgradnja novog dvosistemskog dalekovoda sa tipskim provodnikom Al/Če 240/40 mm²*

Varijanta 3 predviđa izgradnju novog dvosistemskog dalekovoda 110 kV sa provodnikom Al-Če 240/40 mm² koji je standardni provodnik u mreži AD EMS. Takođe, planirana je upotreba postojeće familije stubova, prihvaćene na projektima AD EMS za vodove 110 kV i može se primenjivati bez dodatnih uslova i testiranja. Varijanta 3 predviđa opremanje jednog sistema datim provodnikom jer bi to zadovoljilo postavljeni zahtev za povećanje kapaciteta. Deo građevinskih radova (izrada temelja i podizanje donjih delova stubova) bi se izvodio dok je DV 110kV br. 189 u pogonu, dok bi ostali radovi morali da se izvedu po isključenju ovog dalekovoda. Dužina dalekovoda za izgradnju: 51.2 km.

TABELA VII. VARIJANTA 3 – POTREBNA ULAGANJA

R. br.	Opis	Zbirna cena (eur)
Oprema i radovi		
1	Budžetska cena – kompletna izgradnja i projektovanje dvosistemskog dalekovoda sa ožičavanjem jednog sistema provodnikom Al-Če 240/40mm ² Demontaža i rušenje postojećeg DV 110kV br. 189 N. Pazar – Sjenica	10,024,000.00
Troškovi Investitora		
2	Projektovanje Troškovi Investitora (imovinsko-pravni odnosi, procedure, itd.)	

Dodatno, potrebno je okvirno odrediti vreme potrebno za izvođenje svih radova potrebnih za realizaciju Varijante 3. Ukupno procenjeno vreme potrebno za predloženu rekonstrukciju: **540 dana**. Procenjeno vreme isključenja postojećeg DV 110kV br. 189 zbog izvođenja radova na izgradnji novog dalekovoda: **270 dana**.

V. UPOREDNI PRIKAZ VARIJANTNIH REŠENJA

Prilikom modelovanja postojećeg provodnika korišćeni su geodetski snimci stvarnog stanja provodnika. Na osnovu snimka provodnik se zateže, a zatim se očitaju ugibi za stvarno naprezanje. Za potrebe modelovanja varijante 1 i 2 određena su naprezanja u skladu sa:

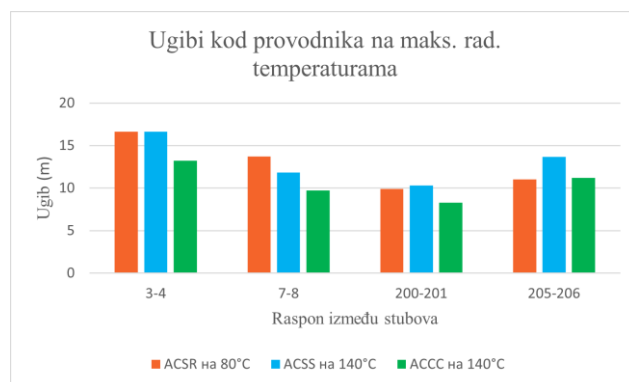
- Zaštitnom zonom zaštitnog užeta (u obe varijante se predviđa zadržavanje postojećeg zaštitnog užeta, pa je ovo fiksni parametar koji uslovljava takav odabir naprezanja da ugib provodnika na maksimalnoj radnoj temperaturi bude veći od ugiba zaštitnog užeta na 40°)
- Kontrolom razmaka u sredini raspona (za ovaj uslov najkritičniji je razmak zaštitno uža – provodnik)
- Odnosom koeficijenta sigurnosti provodnika i zaštitnog užeta
- Postići što veće visine provodnika u odnosu na tlo i objekte

Uvažavajući prethodne uslove i nakon izvršenih grafičkih i računskih provera, usvojena su sledeća naprezanja za varijantu 1 i 2 (tabela VII):

TABELA VIII. NAPREZANJA UŽADI

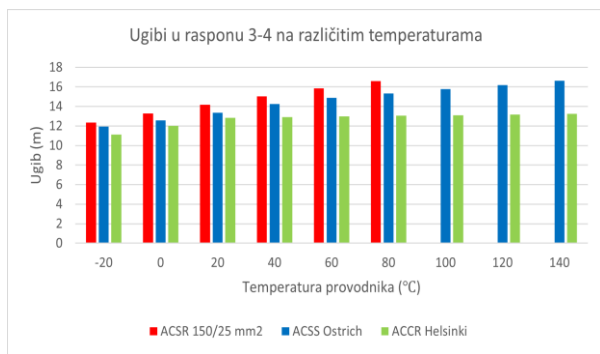
-	Naprezanje (daN/mm ²)
Varijanta 1 – ACSS Ostrich	8.5
Varijanta 2 – ACCC Helsinki	7.5
Tipski provodnik Al/Če 240/40 mm ²	8.83

Na osnovu modela varijanti 1 i 2, kao i modela stvarnog stanja Al-Če (ACSR) 150/25 mm² provodnika izračunate su tabele ugiba za zatezna polja: 1-6; 6-10; 194-204; 204-212. Analizom ovih zateznih polja može se sagledati odnos ugiba između predmetnih varijanti, pogotovu ako se uzme u obzir i to da prva dva zatezna polja karakteriše koeficijent dodatnog opterećenja od leda 1, a poslednja dva koeficijent dodatnog opterećenja od leda 1.6. Takođe, treba imati u vidu da je postojeći tipski provodnik prezategnut u poslednja dva zatezna polja ispred TS Sjenica u odnosu na projektovano maksimalno radno naprezanje koje iznosi 8.826 daN/mm². Preciznije, provodnici su prezategnuti za 8% i 30% u poslednja dva zatezna polja, respektivno. Ovo treba imati u vidu pri analizi ugiba. Iako su modelovana cela zatezna polja, u nastavku je na Sl. 1 grafički prikazana uporedna analiza ugiba između predmetnih varijanti 1 i 2 prema izabranom naprezanju, i za postojeći tipski provodnik Al-Če 150/25 mm² prema snimljenom naprezanju, ali samo za reprezentativne (geodetski snimljene) raspone.



Slika 1. Ugibi provodnika na maks. radnim temperaturama

Na osnovu Sl. 1, zaključujemo da provodnik tipa ACSS ima praktično iste ugibe na zahtevanoj radnoj temperaturi od 140°C kao tipski provodnik Al-Če 150/25 mm² na svojoj maksimalnoj radnoj temperaturi od 80°C kada je ovaj zategnut sa projektovanim maksimalnim radnim naprezanjem. Provodnik tipa ACCC na temperaturi od 140°C ima manje ugibe u odnosu na postojeći tipski provodnik. Razlike u korist tipskog provodnika u poslednja dva zatezna polja potiču od gore pomenutog većeg stvarnog naprezanja. Prema [2], u ovim zateznim poljima je maksimalno naprezanje 8.826 daN/mm², pa stoga rezultati za naprezanja u poslednja dva zatezna polja, koji se odnose na tipski provodnik, nisu u skladu sa Projektom izvedenog objekta. Da bi se pokazala promena ugiba sa temperaturom provodnika, na Sl. 2 je prikazana tabela ugiba za sva tri provodnika, ali kada je postojeći tipski provodnik zategnut sa maksimalnim radnim naprezanjem, a ACSS i ACCC užad prema izabranom naprezanju iz tabele VII.



Slika 2. Tabela ugiba za raspon 3-4 – grafički prikaz

Kao što se vidi na Sl. 2, ugibi provodnika Al-Če (ACSR) i ACSS su praktično isti na maksimalnim radnim temperaturama. Takođe, pošto provodnici uglavnom neće biti opterećeni sa maksimalnim strujama, zaključujemo da će provodnik tipa ACSS u uglavnom imati manje ugibe u odnosu na tipski provodnik koji je sada ugrađen. Odavde se takođe može zaključiti da se provodnik tipa ACSS ne može preopteretiti preko dodatno traženih 50 MW, jer je ograničen ugibom koji se značajno povećava sa povećanjem temperature ovog provodnika. Sa druge strane, vidimo da se provodnik tipa ACCR može opteretiti preko zahtevanih kapaciteta, jer postoji značajna rezerva u ugibu u odnosu na postojeće stanje sa tipskim provodnikom. Jedino gornje ograničenje za ovaj tip uzeća nameće maksimalna radna temperatura samog provodnika koja iznosi 180°C.

Kako su ugibi provodnika kod varijante 1 i 2 na zahtevanoj radnoj temperaturi od 140°C manji ili jednaki ugibu tipskog provodnika na njegovoj maksimalnoj radnoj temperaturi, to se može zaključiti da se upotrebom ovih provodnika postižu veće ili jednake sigurnosne visine i rasojanja provodnika prema tlu ili objektima u odnosu na trenutno ugrađeni tipski provodnik Al-Če.

VI. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedene tehno-ekonomske analize, čiji su rezultati opisani u prethodnom poglavlju, jasno je da su obe varijante koje podrazumevaju zamenu postojećeg Al/Če provodnika „specijalnim“ HTLS provodnikom značajno jeftinije u odnosu na izgradnju novog dalekovoda (Varijanta 3), što je i bilo očekivano, pošto je osnovna primena HTLS provodnika upravo na povećanju prenosnih kapaciteta postojećih dalekovoda uz zadržavanje postojeće konstrukcije, bez velikih građevinskih zahvata.

Varijanta 3 predstavlja rešenje koje zadovoljava sve kriterijume postavljene u ovoj analizi, ali je nepovoljna sa aspekta izuzetno visoke cene i dugog vremena potrebnog za izvođenje radova, pogotovu ako se traženo proširenje kapaciteta može postići uz značajne uštede sagledane u vremenu i novcu.

Imajući u vidu planirane proizvodne kapacitete solarne elektrane *KIMA SOLAR*, kao i druge solarne elektrane jednake snage od 50 MW čije se priključenje na predmetni dalekovod

planira, i sprovedenu analizu, **kao ekonomski najpovoljnije rešenje nameće se Varijanta 1.** Ovo rešenje zadovoljava sve zahtevane kriterijume navedene u ovoj analizi.

Međutim, ovo rešenje nije fleksibilno i ne omogućava dodatna priključenja proizvodnih kapaciteta, koja su, sa razvojem obnovljivih izvora energije, u budućnosti svakako moguća. Takođe treba imati u vidu činjenicu da bi sada već stari postojeći stubovi bili značajno rasterećeni instalacijom 20% lakšeg provodnika u odnosu na trenutno instalirani Al-Če i zatezanjem sa manjim naprežanjem značajno rasteretilo postojeću infrastrukturu i produžilo životni vek ovog dalekovoda. Primena Varijante 2 bi ne samo zadovoljila trenutne zahteve za proširenjem, već bi se ovakvim izborom provodnika u budućnosti mogli priključiti i novi kapaciteti. **Stoga se kao tehno-ekonomski najpovoljnije rešenje, koje optimalno odgovara na sve postavljene kriterijume, nameće Varijanta 2.**

LITERATURA

- [1] Glavni projekat – DV 110 kV br. 189 TS Novi Pazar 1 – TS Sjenica; “Elektroistok” Beograd, 1974. god.
- [2] Projekat izvedenog objekta (PIO) – DV 110 kV br. 189 TS Novi Pazar 1 – TS Sjenica, Zamena zaštitno gužeta užećom sa optičkim vlaknima (OPGW), Elektroistok Projektni biro, 2007. god
- [3] Tehničko uputstvo TU-DV-04, Dozvoljene struje faznih provodnika na dalekovodima EMS a.d.
- [4] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV (“Sl. List SFRJ”, br. 65/88 i (“Sl. List SFRJ”, br. 18/92)
- [5] Manual PLS-CADD, Power Line System, Madison, Wisconsin, USA
- [6] IEEE Standard 738, Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors
- [7] Goran Marinković, Geodetski snimak na DV 110 kV br. 189 u rasponima: 3-4; 7-8; 200-201; 205-206; ELEM&ELGO d.o.o., novembar 2021. god – neobjavljeno
- [8] Ivan Milanov, Sava Skrobonja, Stefan Despotović, Aleksandar Terzić, Rad Cigre Srbija “Analiza mogućnosti primene provodnika veće prenosne moći na postojećim nadzemnim vodovima 110 kV”

ABSTRACT

Analyzing the actual technical problem - connection of two solar power plants, each with installed power of 50 MW, on OHL 110 kV that has not enough capacity to acquire both of them, here are shown some solutions for increasing the OHL transmission capacity using HTLS conductors. In order to optimize the solution, typical conductor types are compared to different special conductors, but also with the solution which assumes completely new OHL with typical conductor but greater capacity. Analysis includes necessary mechanical and temperature calculations, solution feasibility, system fitting, investments cost, as well as time required for construction works.

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF USING HTLS CONDUCTORS IN ORDER TO INCREASE 110 KV OHL CAPACITY TO CONNECT 50 MW SOLAR POWER PLANT

Uroš Jovanović, Ivica Bačvanski