

Tehno-ekonomska analiza pri planiranju revitalizacije visokonaponskih nadzemnih vodova

Aleksandar Simović

Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet
Istočno Sarajevo, BiH
aleksandar.simovic@etf.unssa.rs.ba

Zlatan Stojković

Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
zstojkovic@etf.rs

Miomir Dutina

JP EMS Beograd
Beograd, Srbija
miomir.dutina@nscable.net

Sadržaj—Nakon vremenskog perioda velikih investiranja u razvoj mreže i gradnju novih visokonaponskih nadzemnih vodova, dolazi period investiranja u revitalizaciju postojeće mreže, prije svega investiranja u ne više nove nadzemne vodove. Pristup revitalizaciji visokonaponskih nadzemnih vodova podrazumjeva niz kompleksnih koraka da bi se došlo do konačnog odgovora na pitanje da li je potrebno vršiti neku od akcija. Vrlo važan korak pri donošenju ovih odluka je tehno-ekonomska analiza, koja služi za određivanje obima i vrste potrebnih radova, u zavisnosti od prethodno dijagnostifikovanog tehničkog stanja. U toku istraživanja rađena je tehno-ekonomska analiza za sve elemente nadzemnog voda. Iz razloga velike kompleksnosti u radu su dati pojedini rezultati za tehno-ekonomsku analizu izbora provodnika, zbog njegovog najvećeg značaja kao elementa visokonaponskog nadzemnog voda.

Ključne riječi— visokonaponski nadzemni vod; revitalizacija; tehno-ekonomska analiza

I. UVOD

A. Uvodni dio

U elektroenergetskim sistemima (EES) veliki broj visokonaponskih nadzemnih vodova (VN NV), koji su u pogonu, stari su preko četrdeset, odnosno pedeset godina. Sve komponente nadzemnih vodova (NV) imaju svoj vlastiti životni vijek, vrijeme u kojem se očekuje da će uz redovno održavanje raditi pouzdano obavljajući svoje funkcije. Nakon određenog vremenskog perioda eksploatacije NV dolazi do narušavanja pouzdanosti, tj. do povećanih troškova rada NV u cjelini. Planirani projektovani radni vijek elektroopreme je do 40 godina, a građevinske opreme do 80 godina. S obzirom da se radni vijek opreme bliži kraju vlasnicima prenosnih sistema slijedi period investiranja u prenosnu mrežu. Pravovremenim donošenjem odluka o revitalizaciji postižu se velike novčane uštede, s obzirom da se na taj način smanjuju količina neisporučene energije, gubici snage, investicije u nove vodove, kao i troškovi održavanja revitalizovanih vodova. Nameće se pitanje kako dalje, gdje i kako usmjeriti investicije neophodne za ulaganje u održavanje ili izgradnju novih NV. Jedan od vrlo važnih koraka pri donošenju ovih odluka je tehno-ekonomska analiza VN NV.

Upravljanje velikim novčanim sredstvima za održavanje NV zahtijeva sofisticiran pristup i uvažavanje velikog skupa informacija i znanja, značajnih za pravilno vrijednovanje odluka. Investicioni troškovi su ogromni i mora se imati objektivna ocjena opravdanosti trošenja novca. Svrha tehno-ekonomske analize NV kandidata za revitalizaciju je da se odredi tip potrebnih aktivnosti koje će se primjeniti u zavisnosti od njihovih tehničkih stanja prije dijagnostikovanja.

B. Definicije pojmova

- Nadzemni elektroenergetski vod je skup svih dijelova koji služe za nadzemno vođenje provodnika koji prenose i razvođe električnu energiju, kojim su obuhvaćeni: provodnici, zaštitna užad, zemljovodi, uzemljivači, izolatori, nosači, konzole, stubovi i temelji;
- Tehno-ekonomska analiza podrazumjeva upoređivanje troškova za eventualne radove i troškova održavanja i eksploatacije NV u slučaju da se ti radovi izvedu ili odlože;
- Revitalizacija NV podrazumjeva niz mjera koje treba preduzeti na postojećem vodu da bi se produžio njegov eksploatacioni vijek, tj. da bi se omogućilo da taj NV u toku unaprijed određenog perioda normalno obavlja svoje funkcije;
- Revitalizacija građevinske opreme (stubova i/ili temelja) podrazumjeva određene radove na stubovima i/ili temeljima, ukoliko je tehno-ekonomski opravdano, da bi se produžio eksploatacioni vijek te opreme, a samim tim i NV u cjelini;
- Revitalizacija elektroopreme (provodnika i/ili spojne opreme i/ili izolatora i/ili zaštitnog užeta) podrazumjeva zamjenu postojeće sa novom;
- Rekonstrukcija NV je rušenje postojećeg i gradnja novog po istoj trasi, a vrši se ukoliko nije opravdana sanacija stubova i/ili temelja utvrđena pri tehno-ekonomskoj analizi;
- Sanacija opreme (stubova i/ili temelja i/ili provodnika i/ili spojne opreme i/ili izolatora i/ili zaštitnog užeta) podrazumjeva određene radove na opremi ukoliko je tehno-ekonomski opravdano, da bi se produžio eksploatacioni vijek te opreme, a samim tim i NV u cjelini;
- Upravljanje podrazumjeva tehničko i ekonomsko ocjenjivanje svake planirane akcije, s obzirom da se na taj način smanjuju troškovi održavanja i povećava profit vlasnika NV.

II. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA VISOKONAPONSKIH NADZEMNIH VODOVA - KANDIDATA ZA REVITALIZACIJU

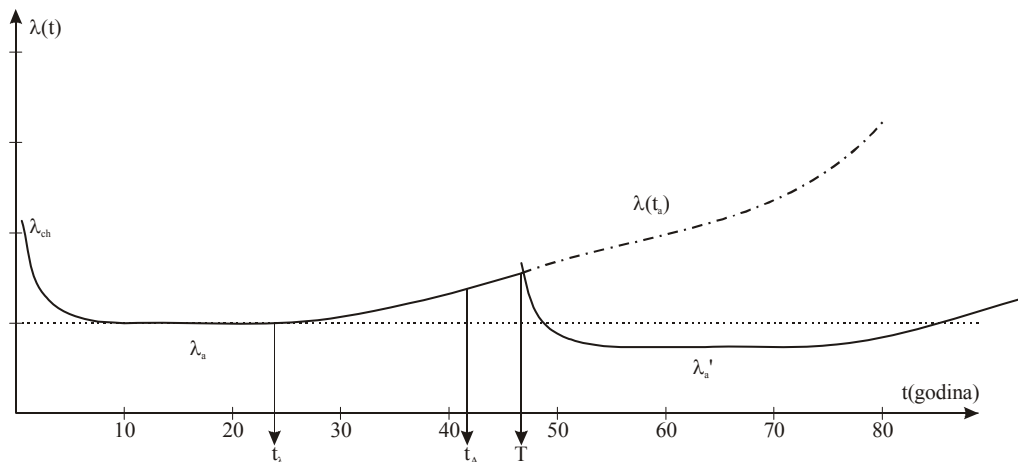
U regiji postoji velik broj starijih vodova na ivici termičkih ograničenja granica rada, koji su u upotrebi. To znači da bi značajna svota novca trebala biti uložena u njihovu revitalizaciju. Glavni zadatak je adekvatna novčana raspodjela na one vodove koji imaju veći uticaj na pouzdanost EES i koji u tom stanju zahtjevaju revitalizaciju. Tehno-ekonomska analiza, kao vrlo važan korak pri donošenju odluka o revitalizaciji, služi za određivanje obima i vrste potrebnih radova na NV u zavisnosti od prethodno sagledanog stanja:

- Revitalizacija (zamjena pojedine elektroopreme i/ili radovi na popravci stubova i temelja);
- Rekonstrukcija (gradnja novog NV po postojećoj trasi);

• Sanacija (popravka oštećenje opreme), kao i odlaganje bilo kakvih radova.

Rezultati analize omogućuju povećanje profita ili smanjenje troškova u odnosu na situaciju kada se ovakva analiza ne vrši, već odluke donose autoriteti na osnovu iskustva i „osjećaja“.

Jedan od upravljačkih zadataka je da se minimizuju godišnji troškovi za dati period investiranja. Kompleksnost zadatka leži u mogućem isticanju životnog vijeka, a ono što je najvažnije potrebno je da se donesu odluke koje će omogućiti prihvatljiv kvalitet napajanja potrošača i isto tako ispuniti njihove glavne zadatke. Na Sl. 1 prikazana je kriva $\lambda(t)$, sa dijagramom godišnjeg broja kvarova u zavisnosti od godine investicije u revitalizaciju ili rekonstrukciju voda.



Slika 1. Dijagram godišnjeg broja kvarova u zavisnosti od godine investicije u revitalizaciju ili rekonstrukciju VN NV

Na Sl. 1 date su sljedeće oznake:

- $t=0$ trenutak montaže voda;
- t_λ - trenutak kada λ počne da raste u odnosu na λ_a , po zakonu $\lambda(t_\lambda)$;
- t_A - trenutak kada je rađena tehnno-ekonomska analiza;
- T - trenutak kada je preduzeta akcija investicionog održavanja;
- λ_{ch} - intenzitet otkaza u prvj godini eksploatacije;
- λ_a - prosječni intenzitet otkaza;
- λ'_a - prosječni intenzitet otkaza revitalizovanog ili rekonstruisanog voda.

Na dijagramu postoje tri vremenske zone:

- zona 1 je zona tzv. dječjih bolesti, koja ima nagli pad u prvj godini postupka sve dok se ne postigne konstantna vrijednost;
- zona 2 je vremenska zona eksploatacije zadnjih 20, pa čak i 30 godina, sa približno konstantnom vrijednosti koja se može izraziti prosječnom vrijednošću intenziteta otkaza $\lambda(t)=\lambda_a$;
- zona 3 je zona starenja, kada $\lambda(t)$ počinje da raste. Ovo je najmanje istražena zona što je posljedica nedovoljnog broja vodova sa istom starošću od 30, 40 ili čak 80 godina.

U zavisnosti od ekonomskog stanja u državi razlikuju se i investicioni fondovi formirani za održavanje, obnovu i poboljšanje kvaliteta elemenata EES. Osnovni kriterijum za

izbor jedne od ovih varijanti je prethodno sagledano stanje, a kroz tehnno-ekonomsku analizu se vrši upoređivanje troškova za eventualne radove i troškova održavanja i eksploatacije NV u slučaju da se ti radovi izvedu ili odlože. Tehno-ekonomska analiza radi se posebno za sljedeće slučajeve:

- Postojeće stanje se zadržava (ništa se ne radi);
- Planira se revitalizacija opreme u roku od 5 godina i
- Planira se revitalizacija cijelog NV u obimu da mu se produži preostali vijek za cca 40 godina.

U slučaju da se preduzima revitalizacija, u tehnno-ekonomskoj analizi sadržan je:

- Predmjer i predračun radova na revitalizaciji;
- Proračun smanjenja gubitaka;
- Troškovi održavanja i
- Otplata troškova revitalizacije preko uštede na gubicima. Gubici se naravno razmatraju samo u slučaju da se predviđa npr. zamjena tipa provodnika sa provodnikom boljih karakteristika.

Pri revitalizaciji treba voditi računa o sljedećem:

1. Povećanju propusne moći NV;
2. Povećanju pogonske spremnosti NV;

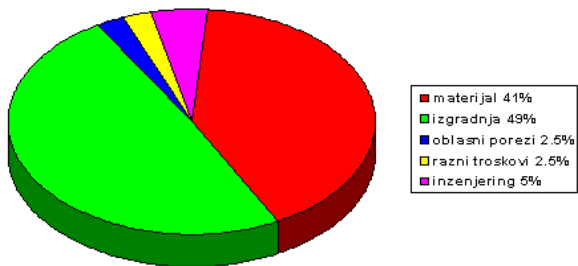
3. Produžetku preostalog vijeka, kako pojedine opreme na NV, tako i NV u cjelini za cca 40 godina;
4. Smanjenju gubitaka na NV;
5. Odlaganju gradnje novog NV zbog revitalizacije postojećeg i
6. Upotrebi zaštitnog užeta sa optičkim kablom.

Tehno-ekonomska analiza može dati odgovor na niz pitanja kao što su:

- Koliko novaca je opravdano potrošiti na unapređenje ostarjelih vodova?
- Koju akciju održavanja potrebno je preduzeti? Moguće varijante su: 1. ništa, 2. pojačana opravka-sanacija, 3. revitalizacija i 4. rušenje i gradnja novog NV- rekonstrukcija.
- Koja je optimalna godina za preduzimanje akcije?

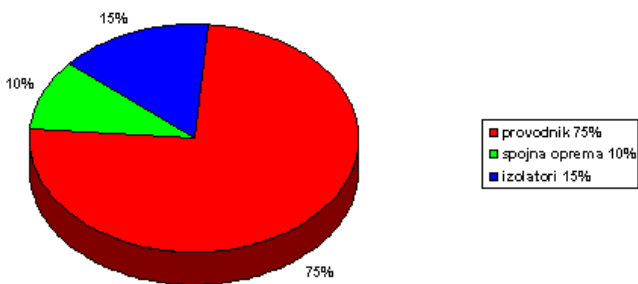
Na Sl. 2 prikazani su ukupni troškovi revitalizacije NV, dok su na Sl. 3 prikazani troškovi opreme pri revitalizaciji NV, po CIGRE. Troškovi pri revitalizaciji su sljedeći:

- 49 % radovi pri revitalizaciji,
- 41 % oprema i materijal pri revitalizaciji i
- 10 % ostali troškovi pri revitalizaciji.



Slika 2. Ukupni troškovi revitalizacije VN NV

Cijena elektroopreme i materijala pri revitalizaciji je:
 75 % fazni provodnici, kao i zaštitno uže (klasično ili OPGW uže),
 15 % izolatori i
 10 % spojna oprema.



Slika 3. Troškovi opreme pri revitalizaciji VN NV

Troškovi pri gradnji novog voda su:
 55 % radovi pri revitalizaciji,
 40 % oprema i materijal pri revitalizaciji i
 5% ostali troškovi pri revitalizaciji.

Cijene elektroopreme i materijala za nove vodove su:

- 35 % fazni provodnici, kao i zaštitno uže (klasično ili OPGW uže) i spojna oprema,
- 5 % izolatori,
- 40 % stubovi i
- 20 % temelji.

U toku istraživanja rađena je tehno-ekonomska analiza za sve elemente NV. Iz razloga velike kompleksnosti u radu su dati pojedini rezultati za tehno-ekonomsku analizu samo jednog od elemenata VN NV. Analiza je prikazana za provodnik, s obzirom da provodnik ima 75 % od ukupne cijene elektroopreme pri revitalizaciji, Sl. 3.

III. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA IZBORA PROVODNIKA

Pri izboru provodnika kod gradnje novog NV situacija je mnogo jednostavnija, jer naručilac zna šta hoće, ali kod izbora provodnika za zamjenu kod postojećih NV situacija je mnogo složenija. Pri izboru provodnika za zamjenu na postojećim NV, pored ostalog vodi se računa i o sljedećem:

- Da se koriste postojeći stubovi i da se ne vrši nikakvo ojačanje, osim zamjene oštećenih elemenata stubova i antikoroziivna zaštita;
- Da sile usljed djelovanja komponenti V_x , V_y i V_z sa novim provodnicima budu manje ili jednake sa silama sa postojećim provodnicima, odnosno da se ide do maksimalnih sila za koje su stubovi projektovani;
- Da se statički ne ugroze stubovi;
- Pritisak vjetra i dodatno opterećenje od leda potrebno je zadržati kao na postojećem NV;
- Da strujno opterećenje novog provodnika bude veće, a ne manje od postojećeg;
- Da ugib novog provodnika bude manji od ugiba projektovanog, a ne veći od ugiba postojećeg provodnika pri projektovanom maksimalnom radnom naprezanju $\sigma_{mr}(\text{daN/mm}^2)$;
- Da odabrano maksimalno radno naprezanje $\sigma_{mr}(\text{daN/mm}^2)$ zadovolji pored prelaza NV preko objekata za koje se ne traži poseban uslov za maksimalno radno naprezanje i uslov iz propisa za gradnju NV na prelazu važnih objekata (kao npr.: plovni kanali, međunarodne ptt linije itd.);
- Da srednje godišnje naprezanje $\sigma_{EDS}(\text{daN/mm}^2)$ pri $+10\text{ }^\circ\text{C}$ ne bude veće od propisane po IEC. Ukoliko je $\sigma_{EDS}(\text{daN/mm}^2)$ veće, treba preduzeti mjere zaštite od vibracija provodnika;
- Sila zatezanja da ne bude veća od sile koju stubovi statički podnose;
- Da koeficijent sigurnosti novog provonika bude veći, a ne manji od koeficijenta sigurnosti postojećeg provodnika i
- Prilagođenje NV sa novim uslovima na terenu.

Do sada su se koristili kao fazni provodnici i zaštitna užad sljedeći tipovi: **Al**, **Al/Č**, **AlMg1E/Č**, **Č**, **ČEAL** i **Cu**. Po IEC 61089/91, IEC 61089/97 i IEC 62219/2002 i njihovim pratećim standardima IEC 60889/87, IEC 60104/87, IEC 60888/87 i IEC 61232/93 daleko je veći izbor vrste i tipa provodnika, kao npr.:

Ax: (A1, A2 i A3);

Ax/Syz: (A1/S1A, A1/S1B, A1/S2A, A1/S2B, A1/S3A, A2/S1A, A2/S1B, A2/S3A, A3/S1A, A3/S1B i A3/S3A), Ax/SAYz (A1/SA1A, A2/SA1A i A3/SA1A);

Ax/Ay: (A1/A2 i A1/A3);

Ax/SAYz: (A1/SA1A, A2/SA1A i A3/SA1A);

Sxy: (S1A, S1B, S2A i S3A);

SAXy: (SA1A, SA1B i SA2);

AXF: (A1F, A2F i A3F);

AXF/Syz: (A1F/S1A, A1F/S1B, A1F/S2A, A1F/S2B i A1F/S3A);

AXF/Ay: (A1F/A1, A1F/A2 i A1F/A3) i

AXF/SA: (A1F/SA, A2F/SA i A3F/SA).

Za korektnu tehno-ekonomsku analizu treba obuhvatiti i sljedeće:

- Strujno opterećenje provodnika;
- Sile koje djeluju na vrhu stuba od uticaja provodnika i zaštitnog užeta i
- Sigurnosne visine provodnika iznad objekata ispod voda.

U tabeli I dat je pregled primjenjenih faznih provodnika u prenosnoj i distributivnoj mreži Elektromreža Srbije (EMS) i Elektroprivrede Srbije (EPS). U tabeli II data je raspodjela težine provodnika u plaštu, jezgru, podužna masa masti provodnika, kao i ukupna podužna masa provodnika. U tabelama III i IV prikazani su rezultati analize cijena pojedinih tipova provodnika, za koje je izvršen proračun po IEC, a koji su do sada ugrađeni u prenosnoj i distributivnoj mreži u regionu. Na osnovu prikazanih analiza dobijaju se vrlo važni odgovori na pitanja, kako bi se došlo do konačna odluka o revitalizaciji VN NV. Na ovaj način vrši se poređenje troškova za eventualne radove i troškova održavanja i eksploatacije NV u slučaju da se radovi odlože.

Cijene poluproizvoda za proizvodnju žica od Ax (AlMgSi i Al), gotovih žica od pocinkovanog čelika S1A (Č III) i SAXy (ACS-Awg), kao i masti za zamašćenje provodnika dobijeni su od Novkabel-a Novi Sad.

TABELA I. PREGLED PRIMJENJENIH FAZNIH PROVODNIKA U PRENOSNOJ I DISTRIBUTIVNOJ MREŽI EMS-A I EPS-A, IZRAČUNATE KARAKTERISTIKE PO IEC

Redni broj provodnika	Vrsta i presjek provodnika po JUS	Vrsta i presjek provodnika po IEC	Konstrukcija provodnika	m kg/km
1**	AlMg1E/Č 1303/228	AlMg1E/Č 13003/228	108x3.92+37x2.80	5400,0
2**	AlMg1E/Č 967/228	AlMg1E/Č 967/228	(54x2.8+66x3.50)+37x2.80	4500,0
3**	Al/Č 505/585	Al/Č 505/585	78x2.87+91x2.87	5994,0
4*	Al/Č 490/65	487-A1/S1A-54/7	54x3.40+7x3.40	1919,0
5*	Al/Č 360/57	360-A1/S1A-26/7	26x4.20+7x3.20	1456,8
6*	Al/Č 360/57	360-A1/S1A-26/19	26x4.20+19x1.96	1452,5
7*	Al/Č 240/40	243-A1/S1A-26/7	26x3.45+7x2.68	995,3
8*	Al/Č 150/25	150-A1/S1A-26/7	26x2.70+7x2.10	610,1
9*	Al/Č 120/20	122-A1/S1A-26/7	26x2.44+7x1.90	498,6
10*	Al/Č 150/50	145-A1/S1A-36/7	36x2.25+7x3.00	818,9
11*	Al/Č 120/40	125-A1/S1A-36/7	36x2.10+7x2.80	713,3
12*	180-A3-37	180-A3-37	37x2.70	614,8
13*	160-A3-19	160-A3-19	19x3.53	534,9
14	42.5-SA1A-19	42.5-SA1A-19	19x2.91	855,8
15*	160-SA2 27SA-37	160-SA2 27SA-37	37x3.53	2218,6
16*	82.5-SA2 27SA-19	82.5-SA2 27SA-19	19x3.56	1149,9
17*	Č III 150	21.8-S1A-37	37x2.25	1189,2
18*	Al/Č 16/2.5	15.5-A1/S1A-6/1	6x1.8+1x1.8	63,2
19*	Al/Č 25/4	23.6-A1/S1A-6/1	6x2.25+1x2.25	98,7
20*	Al/Č 35/6	34.5-A1/S1A-6/1	6x2.70+1x2.70	142,2
21*	Al/Č 50/8	48.7-A1/S1A-6/1	6x3.20+1x3.20	199,7
22*	Al/Č 70/12	69-A1/S1A-26/7	26x1.85+7x1.44	286,6
23*	Al/Č 95/15	95-A1/S1A-26/7	26x2.15+7x1.67	386,5

TABELA II. RASPODJELA TEŽINE PROVODNIKA U PLAŠTU, JEZGRU I ZAMAŠĆENJA

Redni broj provodnika	Vrsta i presjek provodnika po JUS	Vrsta i presjek provodnika po IEC	m _p	m _i	m _m	m
			kg/km			
1**	AlMg1E/Č 1303/228	AlMg1E/Č 13003/228	3564,5	1812,6	22,9	5400,0
2**	AlMg1E/Č 967/228	AlMg1E/Č 967/228	2664,5	1812,6	22,9	4500,0
3**	Al/Č 505/585	Al/Č 505/585	1390,0	4570,0	34,0	5994,0
4*	Al/Č 490/65	487-A1/S1A-54/7	1356,1	496,5	66,4	1919,0

5*	AI/Č 360/57	360-A1/S1A-26/7	994,7	439,9	22,2	1456,8
6*	AI/Č 360/57	360-A1/S1A-26/19	994,7	449,4	8,3	1452,5
7*	AI/Č 240/40	243-A1/S1A-26/7	671,2	308,5	15,6	995,3
8*	AI/Č 150/25	150-A1/S1A-26/7	411,1	189,4	9,6	610,1
9*	AI/Č 120/20	122-A1/S1A-26/7	335,7	155,1	7,8	498,6
10*	AI/Č 150/50	145-A1/S1A-36/7	395,5	386,6	36,8	818,9
11*	AI/Č 120/40	125-A1/S1A-36/7	344,5	336,8	32,1	713,3
12*	180-A3-37	180-A3-37	584,1		30,7	614,8
13*	160-A3-19	160-A3-19	511,6		23,3	534,9
14	42.5-SA1A-19	42.5-SA1A-19	847,7		8,1	855,8
15*	160-SA2 27SA-37	160-SA2 27SA-37	2182,9		35,8	2218,6
16*	82.5-SA2 27SA-19	82.5-SA2 27SA-19	1137,7		12,2	1149,9
17*	Č III 150	21.8-S1A-37	1167,9		21,3	1189,2
18*	AI/Č 16/2.5	15.5-A1/S1A-6/1	41,9	19,8	1,5	63,2
19*	AI/Č 25/4	23.6-A1/S1A-6/1	65,5	30,9	2,3	98,7
20*	AI/Č 35/6	34.5-A1/S1A-6/1	94,3	44,5	3,4	142,2
21*	AI/Č 50/8	48.7-A1/S1A-6/1	132,4	62,6	4,7	199,7
22*	AI/Č 70/12	69-A1/S1A-26/7	193,0	89,1	4,5	286,6
23*	AI/Č 95/15	95-A1/S1A-26/7	260,7	119,8	6,1	386,5

Napomena: ** Provodnici zamašćeni, svi slojevi, osim spoljnog sloja provodnika i
* Provodnici zamašćeni, samo jezgro provodnika.

Provodnici pod rednim brojem 12, 13, 14, 15 i 16 u koloni „Vrsta i presjek provodnika po JUS“ su označeni po IEC, jer je njihov izbor rađen po IEC.

TABELA III. UČEŠĆE $A_x(A1, A2 \text{ i } A3)$, SA_{xy} I Č U CIJENI PROVODNIKA A_x , A_x/S_{xy} , A_x/SA_{xy} I SA_{xy} I ZAMAŠĆENJA ISTIH

Redni broj provodnika	C_p	C_j	C_m	$C_{uk.}$	$C_{bez.proiz.}$	$C_{sa.proiz.}$	$C_{sa \text{ proiz. spec.prov.}}$
	€				€/kg		
1**	11655,70	2224,05	40,74	13920,49	2,58	3,09	3,87
2**	8712,75	2224,05	40,74	10977,54	2,44	2,93	3,66
3**	3496,32	5607,36	60,49	9164,17	1,53	1,83	2,29
4*	3411,05	609,20	118,13	4138,39	2,16	2,59	
5*	2502,01	539,75	39,50	3081,26	2,12	2,54	
6*	2502,01	551,41	14,77	3068,18	2,11	2,53	
7*	1688,29	378,53	27,75	2094,58	2,10	2,53	
8*	1034,06	232,39	17,08	1283,53	2,10	2,52	
9*	844,40	190,31	13,88	1048,58	2,10	2,52	
10*	994,82	474,36	65,47	1534,64	1,87	2,25	
11*	866,53	413,25	57,11	1336,90	1,87	2,25	
12*	1909,97		54,62	1964,59	3,20	3,83	4,79
13*	1672,90		41,45	1714,35	3,21	3,85	4,81
14	2704,32		14,41	2718,73	3,18	3,81	4,77
15*	6963,85		63,69	7027,55	3,17	3,80	4,75
16*	3629,47		21,71	3651,18	3,18	3,81	4,76
17*	1433,01		49,66	1482,66	1,25	1,50	1,87
18*	105,39	24,29	2,67	132,36	2,09	2,51	
19*	164,75	37,91	4,09	206,76	2,09	2,51	
20*	237,20	54,60	6,05	297,85	2,09	2,51	
21*	333,03	76,81	8,36	418,20	2,09	2,51	
22*	485,46	109,33	8,01	602,79	2,10	2,52	
23*	655,75	146,99	10,85	813,60	2,11	2,53	

TABELA IV. UČEŠĆE AI(A1, A2 i A3), SAxy I Č U CIJENI PROVODNIKA Ax, Ax/Sxy, Ax/SAxy I SAxy I ZAMAŠĆENJA ISTIH

C _{AlMg1E}	C _{A2(3)}	C _{mast 80°C}	C _{mast 125°C}	C _{A1}	C _{S1A}	C _{SA!A}	C _{proiz.}	C _{proiz. spec.prov.}
€/kg							%	
3,27	3,27	1,78	2,33	2,52	1,23	3,19	20	50
din/kg							din/€	
266,5	266,50	145,00	190,00	205,00	100,00	260,0	81,5	

Korištene su sljedeće oznake :

- m_p (kg/km) - poduzna masa plašta provodnika;
- m_j (kg/km) - poduzna masa jezgra provodnika;
- m_m (kg/km) - poduzna masa masti provodnika;
- m (kg/km) - poduzna masa provodnika;
- C_p (€) - cijena poluproizvoda za izradu žica plašta;
- C_j (€) - cijena žica za izradu jezgra;
- C_m (€) - cijena masti za zamašćenje provodnika;
- C_{uk.} (€) - ukupna cijena materijala za izradu žice;
- C_{bez.proiz.} (€/kg) - jedinična cijena materijala (plašt, jezgro i mast) za izradu provodnika;
- C_{sa.proiz.} (€/kg) - jedinična cijena materijala (plašt, jezgro i mast) za izradu provodnika i izrada;
- C_{sa.proiz. spec.prov.} (€/kg) - jedinična cijena materijala (plašt, jezgro i mast) za izradu specijalnih provodnika i izrada.

Analizirani su sljedeći tipovi provodnika: **AlMg1E/Č** po JUS, a ne postoji po IEC, **Al/Č** po JUS, a **Ax/Syz** po IEC, **AlMg1E** po JUS, a **Ax** po IEC, **Ax/SAyz** po IEC, a ne postoji po JUS, **ČEAL** po JUS, a **SA1A** po IEC, **Č III** po JUS, a **Sxy** po IEC. Proizilaze sljedeće cijene raznih tipova provodnika:

- Provodnik tipa **Č III** po JUS, a **Sxy** po IEC, cijena je 1,50 €/kg;
- Provodnik tipa **Al/Č** po JUS, a **Ax/Syz** po IEC, cijena je 2,50 €/kg;
- Provodnik tipa **AlMg1E** po JUS, a **Ax** (A2 ili A3) po IEC i **ČEAL** po JUS, a **SA1A 20SA** ili **SA2 27SA** po IEC, cijena je 3,80 €/kg.

IV. ZAKLJUČAK

Upravljanje procesima prenosa i distribucije električne energije je dugotrajan i bitan proces. Imajući u vidu veliki značaj NV za rad EES, kao i veliku investicionu vrijednost i velike troškove revitalizacije, problem planiranja revitalizacije jeste od naročitog interesa za vlasnike NV u cijelom svijetu. Jedan od vrlo bitnih koraka pri donošenju odluka pri revitalizaciji NV je tehnno-ekonomska analiza. Analiza daje odgovore na neka konkretna pitanja kao što su: koliko novca je opravdano potrošiti na unapređenje ostarjelih vodova, koju akciju održavanja potrebno je preduzeti, koja je optimalna godina za preduzimanje akcije i sl. U toku istraživanja rađena je tehnno-ekonomska analiza za sve elemente NV, ali s obzirom na kompleksnost u radu je glavni akcent dat analizi provodnika. Rezultati ovih analiza daju rješenja sa kojima se zadovoljavaju tehnički zahtjevi koje nameću uslovi eksploatacije NV i samim tim moguće je odrediti varijantu rješenja koja najbolje odgovara vlasnicima NV. Niz

komponenti ove analize zahtjeva ozbiljna dodatna istraživanja, gdje spadaju vremenska zavisnost rasta intenziteta otkaza starih NV, kao i prognoza daljeg rasta.

LITERATURA

- [1] J. Schlabbach, K. Rofalski, Overhead lines, Power System Engineering: Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment, 2008, pp. 137–157.
- [2] A. Simović, Z. Stojković, M. Dutina, Software tool for the implementation of the methodology for revitalization of high-voltage overhead power lines, Journal of Energy and Power Engineering (JEPE), Vol. 8, No. 10, October 2014, pp. 1791-1801, Print ISSN 1934-8975, Online ISSN 1934-8983.
- [3] A. Simović, Z. Stojković, M. Dutina, Primjena metodologije pri revitalizaciji visokonaponskih nadzemnih vodova, BH K CIGRE, Neum, 2013, Ref. B2.04.
- [4] M. Nimrihter, S. Guševac, S. Novaković, M. Dutina, Pouzdanost nadzemnih vodova kao osnova za ocenu njihovog značaja pri planiranju revitalizacije, JUKO CIGRE, Banja Vrućica-Teslić, 2003, R 22-14.

ABSTRACT

After a period of time when major investments have been made in both power network development and in a construction of new high-voltage overhead power lines, there is a period of time when there is a need to make new investments in rehabilitation of the existing power network, primarily in the old overhead power lines. The approach to the revitalization of high-voltage overhead power lines includes a series of steps which need to be taken to reach the final conclusion, which would be an answer to the question whether any action of revitalization should be performed or not. A very important step in making these decisions is a techno-economic analysis, which is used to determine to which extent a high-voltage overhead power line should be revitalized and what kinds of action should be performed, depending on a previously examined technical condition of the power line in question. During a research project, a techno-economic analysis of all the elements of a high-voltage overhead power line has been carried out. Due to the enormous complexity of the analysis, this paper concentrates primarily on some results of the techno-economic analysis which shows the choice of conductors, since conductors are considered the most significant elements of a high-voltage overhead power line.

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF PLANNING REVITALIZATION OF HIGH-VOLTAGE OVERHEAD POWER LINES

Aleksandar Simović
Zlatan Stojković
Miomir Dutina