

Uticaj parametara provodnika visokonaponskog nadzemnog voda na nivo buke usled korone

Iva Salom, Milenko Kabović,
Vladimir Čelebić
Institut Mihalo Pupin
Beograd, Srbija
iva.salom@pupin.rs,
milenko.kabovic@pupin.rs,
vladimir.celebic@pupin.rs

Dejan Todorović
Dirigent Acoustics d.o.o.
Beograd, Srbija
dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs

Nebojša Petrović, Nada Curović
Elektromreža Srbije AD
Beograd, Srbija
nebojsa.petrovic@ems.rs,
nada.curovic@ems.rs

Sažetak—U skladu sa svetskim ekološkim trendovima, u okviru koga je i rešavanje problema zaštite od buke, problem buke koja potiče od visokonaponskih nadzemnih vodova je ponovo postao aktuelan u svetu. Različitim vrstama provodnika, kao i obradom površine provodnika može se uticati na nivo buke. U ovom radu je prikazan uticaj RTV obloge i specijalne vrste trapezoidnih provodnika na nivo buke u odnosu na standardne ACSR provodnike.

Ključne reči—visokonaponski nadzemni vod; korona; buka, RTV, ACSR

I. UVOD

Glavni izvor buke na visokonaponskim nadzemnim vodovima je korona [1]–[3]. Korona predstavlja efekat prouzrokovan parcijalnim pražnjenjima na izolatorima nadzemnih vodova i u vazduhu koji okružuje provodnik. Visoke vrednosti električnog polja oko provodnika dovode do jonizacije okolne sredine i pri dovoljno visokom naponu dolazi do lokalnih proboja i električnog pražnjenja u vidu impulsnih struja. Kao posledica ove pojave javljaju se različiti efekti: svetlosni efekat, elektromagnetne smetnje (nejonizujuće zračenje), buka, gubici aktivne snage, oslobađanje ozona [1]–[6]. Najveći broj ovih efekata ima negativan uticaj kako na rad elektroenergetskog sistema, tako i na životnu sredinu. Pored nejonizujućeg zračenja, buka od efekta korone je osnovni parametar uticaja na životnu sredinu u okolini visokonaponskih nadzemnih vodova. Utvrđeno je da je kod nadzemnih vodova nižih naponskih nivoa, generalno ispod 400 kV, buka dovoljno niskog nivoa da nema uticaja na stanovništvo i životnu sredinu [1]. Usled sve većeg približavanja naselja nadzemnim vodovima na višim naponskim nivoima postavilo se i pitanje buke koja se stvara u njihovoj neposrednoj okolini, kao i korišćenjem mera za smanjenje buke.

Problem buke nadzemnih vodova javio se sa razvojem elektroenergetske mreže na višim naponskim nivoima šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka. Iz tog razloga tokom perioda između šezdesetih i osamdesetih godina buka usled korone je bila predmet mnogih istraživanja širom sveta [7]–[12], u okviru različitih institucija, kao i organizacija, kao što su CIGRE i IEEE. U skladu sa svetskim trendovima zaštite od buke, posle dužeg vremena zatišja, problem buke usled korone na nadzemnim visokonaponskim vodovima je u

poslednje vreme ponovo postao aktuelan. Ovaj problem istražuje se intenzivno na globalnom nivou, a dokaz je veliki broj objavljenih naučnih radova i disertacija, kao i sprovedenih studija i projekata na tu temu [13]–[25], naročito poslednjih godina, čemu je doprinelo opšte povećanje ekološke svesti. Zbog obima rada, u okviru literature je nabrojan samo manji deo dostupnih referenci, relevantnih za ovaj rad.

Na buku nadzemnog voda usled korone na složen način utiču različiti parametri, a pre svega konfiguracija voda, stanje površine provodnika, i meteorološki uslovi. Istraživanja obuhvataju teorijska razmatranja, veliki broj merenja buke u laboratorijskim uslovima, kao i *in situ* merenja, metode za proračun i matematičko modelovanje i simulacije, uzimajući u obzir pomenute različite parametre konfiguracije stubova i uslova u kojima nadzemni vod radi, kao i psihoakustičke testove da bi se ispitao uticaj ove specifične buke na čoveka.

Sa razvojem tehnologije na tržištu postaju dostupni tehnološki unapređeni provodnici specijalnih konstrukcija, kao i razne vrste premaza i obloga, sa preporukama proizvođača za poboljšanje različitih karakteristika nadzemnih vodova [2], a između ostalog i za smanjenje nivoa buke. U ovom radu prikazana su moguća smanjenja nivoa buke nanošenjem spreja sa RTV (*Room-Temperature Vulcanizing* – RTV) materijalom [26],[27], kao i primenom provodnika sa upređenim žilama trapezoidnog oblika [26]. Prikazani rezultati su dobijeni primenom simulacija i proračuna.

II. BUKA USLED KORONE NA NADZEMNIM VODOVIMA

A. Karakteristike buke na nadzemnim vodovima

Buka nastala usled pojave korone predstavlja jedan od glavnih efekata kod visokonaponskih nadzemnih vodova. Električno polje na površini provodnika nadzemnog voda direktno utiče na pojavu korone pa je uveden pojam naponskog gradijenta na površini provodnika, koji se uzima kao parametar kod proračuna za određivanje veličine uticaja pomenutih efekata, a između ostalog i nivoa zvuka nastalog usled korone [1],[2].

U procesu generisanja impulsnih struja dolazi do zagrevanja vazduha u neposrednoj okolini provodnika do vrlo visokih temperatura, pri čemu vazduh ne uspeva dovoljno da poveća

zapreminu u skladu sa temperaturom. Kao rezultat toga, lokalni pritisak se povećava i na taj način se stvara impuls zvučnog pritiska, odnosno zvučni talas koji se prostire u prostor. Ovako nastali zvučni impuls traje desetine mikrosekundi [1]. Stoga se spektar ovako generisanog zvučnog signala ne može prostirati iznad nekoliko desetina kHz.

Pražnjenja usled korone na provodnicima nadzemnog voda odvijaju se na brojnim tačkama duž provodnika, generišući slučajnu povorku zvučnih impulsa. Stoga se ukupan nivo zvučnog pritiska na nekom mestu merenja dobija sabiranjem energija svih izvora. Ovaj postupak se koristi kod različitih analitičkih metoda za izračunavanje nivoa zvučnog pritiska buke usled korone.

Pomenutoj širokopojasnoj komponenti zvuka superponira se tonalna komponenta, koja potiče od oscilatornog kretanja oblaka jona tokom različitih poluperioda napona. Ovo kretanje stvara naizmenične promene gustine vazduha dva puta tokom jedne periode naizmeničnog napona. Na taj način nastaje osnovni duboki ton, takozvani ham (en. *hum*) na dvostrukoj vrednosti mrežne frekvencije (50 Hz u Republici Srbiji). Promene pritiska jesu periodične, ali se tokom pozitivne i negativne poluperiode mogu razlikovati. Stoga može doći do pojave i viših harmonika, ali najčešće značajno manjeg intenziteta.

B. Maksimalni naponski gradijent na površini provodnika E_{max}

Električno polje na površini provodnika nadzemnog voda je važan parametar u projektovanju nadzemnog voda jer direktno utiče na pojavu korone pa se njegova vrednost uzima kao parametar prilikom proračuna za određivanje veličine uticaja pomenutih efekata, a između ostalog, i na nivo zvuka nastalog usled korone. Pri tome je uveden pojam naponskog gradijenta na površini provodnika E . Može se pokazati da se vrednost ove veličine u prisustvu drugih provodnika menja po približno sinusoidalnom zakonu u prostoru u neposrednoj blizini oko provodnika, a da njena srednja i maksimalna vrednost na površini provodnika, kao i tačka na kojoj ona dostiže maksimalnu vrednost, u potpunosti opisuju električno polje kako na samoj površini provodnika tako i u njegovoj neposrednoj blizini. Maksimalna vrednost naponskog gradijenta na površini provodnika izabrana je kao veličina koja karakteriše pojavu korone na provodnicima u snopu, zajedno sa prečnikom svakog od provodnika, prečnikom snopa i broja provodnika u snopu. U praksi je usvojeno da se za veličinu maksimalnog naponskog gradijenta na površini provodnika uzima srednja vrednost maksimalnih naponskih gradijenata na površini svakog od provodnika u snopu, E_{max} [1].

Jačina električnog polja na površini provodnika pri kome dolazi do pojave korone naziva se naponski gradijent korone na površini provodnika. Pojava korone na površini provodnika zavisi pre svega od maksimalne vrednosti naponskog gradijenta na površini provodnika, tj. koliko se ova vrednost približava naponskom gradijentu korone na površini provodnika. Teorija i praksa pokazuju da je vrednost naponskog gradijenta korone na površini provodnika za idealan cilindrični provodnik poluprečnika 10 mm oko 38 kV/cm (27 kV_{rms}/cm), dok kod standardnih provodnika sa upredenim žilama (na primer, ACSR – *Aluminium Conductor Steel Reinforced* provodnik) ova vrednost pada na oko 30 kV/cm (21 kV_{rms}/cm) [5]. Generalna

preporuka pri projektovanju nadzemnih vodova je da vrednost maksimalnog naponskog gradijenta na površini provodnika ne prelazi 24 kV/cm (17 kV_{rms}/cm).

Maksimalna vrednost naponskog gradijenta na površini provodnika, E_{max} na složen način zavisi od različitih parametara pa se stoga za određivanje maksimalne vrednosti naponskog gradijenta na površini provodnika koristi više analitičkih i numeričkih metoda [26].

C. Uticaj različitih parametara na nivo buke

Parametri koji utiču na vrednost naponskog gradijenta na površini provodnika, a samim tim i na nivo buke usled korone su [1],[5],[26]:

- 1) napon mrežne frekvencije,
- 2) prečnik provodnika,
- 3) oblik žila za upredanje,
- 4) rastojanje između provodnika u snopu po fazi,
- 5) broj provodnika u snopu po fazi,
- 6) geometrija snopa,
- 7) rastojanje između provodnika i zemlje,
- 8) rastojanje kao i međusobni položaj faznih provodnika,
- 9) stanje površine provodnika,
- 10) atmosferski i meteorološki uslovi

Dodatno, na nivo buke utiče i nadmorska visina [1].

Stanje površine provodnika značajno utiče na vrednost naponskog gradijenta na površini provodnika. Naime, razne nepravilnosti na površini provodnika, kao što su zaseci i ogrebotine, usled oštećenja, ili deformacije usled udara groma, prisustvo nečistoća (insekti, čestice biljnog porekla, površinska zagađenja) i vode (kapi, sneg, led), dovode do lokalnog povećanja naponskog gradijenta na površini provodnika i samim tim do pojave korone ukoliko ta vrednost premaši vrednost naponskog gradijenta korone na površini provodnika. Hidrofobna površina provodnika, koja je često posledica uljanih premaza novih provodnika, utiče na stvaranje većeg broja kapi na površini provodnika pa se novi provodnici tretiraju kako bi se povećala hidrofobnost površine [15],[19].

Naponski gradijent na površini provodnika je na složen način inverzno proporcionalan prečniku provodnika, kao i naponski gradijent korone na površini provodnika. U slučaju konstantne vrednosti napona mrežne frekvencije, svi efekti usled pojave korone smanjuju se sa povećanjem prečnika provodnika. Sa druge strane, pri istoj vrednosti naponskog gradijenta na površini provodnika radio smetnje i nivo buke se povećavaju sa povećanjem prečnika provodnika, što se objašnjava činjenicom da jačina električnog polja sporije opada sa rastojanjem od provodnika što je provodnik većeg prečnika [4]. Stoga je prečnik provodnika jedan od parametara o kome treba voditi računa prilikom projektovanja nadzemnih vodova.

D. Eksperimentalne formule za proračun nivoa buke usled korone nadzemnog voda u kišnim uslovima

Na osnovu rezultata velikog broja merenja sprovedenih u institucijama širom sveta razvijene su empirijske i polu-empirijske formule za procenu nivoa buke nadzemnih vodova u kišnim uslovima. S obzirom da u kišnim uslovima dominira širokopojasna komponenta formule su uglavno razvijane za ovaj

slučaj. Dve najčešće korišćene formule za procenu nivoa širokopojasne komponente u kišnim uslovima su [1]:

- EPRI (*Electric Power Research Institute*) metoda, i
- BPA (*Bonneville Power Administration*) metoda.

a postoji i čitav niz drugih metoda (*Ente Nazionale per L'Energia Elettrica* (ENEL) – Italija, *Institut de Recherche d'Hydro-Québec* (IREQ) – Kanada, *Electricité de France* (EdF) – Francuska, *Central Research Institute of Electric Power Industry* (CRIEPI) – Japan, FGH – Nemačka itd.). Pri tome se kao rezultat standardno dobijaju sledeći parametri:

- statistički deskriptor L_{50} , koji se odnosi na slučaj kada je provodnik mokar (*wet conductor*), i kada vod radi u uslovima kada su provodnici mokri; može se očekivati da tokom kiše nivo buke usled korone prekorači vrednost parametra L_{50} u 50% vremena, uzimajući u obzir kišu tokom određenog vremenskog perioda, obično jedne godine;
- statistički deskriptor L_5 , koji se odnosi na slučaj kada vod radi u uslovima obilne (jake) kiše (*heavy rain*); može se očekivati da tokom kiše nivo buke usled korone prekorači vrednost parametra, L_5 u 5% vremena;
- statistički deskriptor L_{50} , koji se odnosi na slučaj povoljnih meteoroloških uslova;
- prosečan nivo očekivane buke tokom kiše (tokom dužeg vremenskog perioda), koji je generalno blizu nivoa L_{50} .

Sve pomenute metode zasnivaju se na eksperimentalno određenim jednačinama, koje predviđanje nivoa buke usled korone vrše na osnovu maksimalne vrednosti naponskog gradijenta na površini pojedinih provodnika, konfiguracije i dimenzija snopa provodnika, kao i broja provodnika po fazi u snopu. U opštem slučaju formula za izračunavanje nivoa buke usled korone na nadzemnom vodu je sledećeg oblika:

$$P = P_0 + k_1 \cdot f_1(E_{\max}) + k_2 \cdot f_2(n) + k_3 \cdot f_3(d) + k_4 \cdot f_4(D) \quad (1)$$

gde su:

- P – procenjeni A-ponderisani nivo buke korone od jedne faze (provodnika u snopu) u posmatranoj tački,
- P_0 – konstanta – referentni nivo buke,
- E_{\max} – maksimalna vrednost naponskog gradijenta na površini provodnika,
- n – broj provodnika u snopu po fazi,
- d – prečnik provodnika,
- D – rastojanje od provodnika do tačke u kojoj se određuje nivo buke,
- k_1, k_2, k_3, k_4 – konstante.

Formula (1) daje procenu nivoa buke od jedne faze. Ukupan nivo od svih faza, ili višesistemskog nadzemnog voda, dobija se primenom formule za izračunavanje nivoa zvuka više nekorelisanih izvora:

$$P_{\text{tot}} = 10 \log \sum_{i=1}^{N_p} 10^{P_i/10} \quad (2)$$

gde je N_p ukupan broj faza nadzemnog voda.

Danas se najviše primenjuje BPA formula, koja daje procenu deskriptora L_{50} za mokar provodnik pri kiši intenziteta oko

1 mm/h. Nivo podužne zvučne snage provodnika jedne faze, u dBA u odnosu na referentnu vrednost $P'_{a0} = 10^{-12}$ W/m računa se po formuli:

$$A = 55 \log d + 120 \log E_{\max} + \frac{H}{300} - 109,6 \quad (3)$$

$$n < 3$$

$$A = 26,4 \log n + 55 \log d + 120 \log E_{\max} + \frac{H}{300} - 122,6 \quad (4)$$

$$n \geq 3$$

Procenjeni A-ponderisani nivo buke, deskriptor L_{50} , korone od provodnika jedne faze (provodnika u snopu) nadzemnog voda u posmatranoj tački, u dBA u odnosu na referentnu vrednost $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa računa se po formuli:

$$P = 55 \log d + 120 \log E_{\max} + \frac{H}{300} - 115,4 - 11,4 \log D \quad (5)$$

$$n < 3$$

$$P = 26,4 \log n + 55 \log d + 120 \log E_{\max} + \frac{H}{300} - 128,4 - 11,4 \log D \quad (6)$$

$$n \geq 3$$

gde je H nadmorska visina u metrima.

Za slučaj obilne kiše deskriptor L_5 se dobija tako što se na vrednosti dobijene u formulama (5) i (6) doda 3,5 dB, dok se za slučaj povoljnih meteoroloških uslova deskriptor L_{50} dobija tako što se od vrednosti dobijenih u formulama (5) i (6) oduzme 25 dB.

III. PRORAČUN UTICAJA PARAMETARA PROVODNIKA NA NIVO BUKE

U radu [26] vršen je proračun jačine elektrinog polja u okolini i na površini provodnika primenom metode simuliranih naelektrisanja (*Charge Simulation Method* – CSM). Tačnost matematičkog modela potvrđena je poređenjem proračunatih i izmerenih vrednosti jačine električnog polja na 1 m iznad zemlje ispod konkretnih realnih 400 kV nadzemnih vodova, dok je tačnost vrednosti naponskog gradijenta na površini provodnika proračunatih primenom razvijenog modela proverena poređenjem sa rezultatima dobijenim primenom analitičkih metoda. Na istim primerima realnih vodova ispitan je uticaj sledećih metoda za smanjenje vrednosti naponskog gradijenta na površini upredenih provodnika i u njihovoj neposrednoj blizini:

- promena uslova na površini provodnika nanošenjem spreja sa RTV (*Room-Temperature Vulcanizing* – RTV) materijalom,
- primena provodnika sa upredenim žilama trapezoidnog oblika.

A. Promena uslova na površini provodnika nanošenjem spreja sa RTV (*Room-Temperature Vulcanizing* – RTV) materijalom

Ova metoda zasniva se na nanošenju RTV silikonske gume sastavljene od reaktivnih ulja na bazi polimera kombinovanih sa ojačanim mineralnim punjenjem s ciljem povećanja dielektrične čvrstoće površine opreme (provodnika, izolatora i dr.). RTV materijal može da se nanosi potapanjem, premazivanjem četkom, ali najčešće prskanjem sprejom, jer se na prva dva načina materijal ne može naneti uniformno na površinu provodnika [26],[27]. Na Sl. 1 prikazan je provodnik bez RTV obloge i sa RTV materijalom nanešenim prskanjem.

Dobra hidrofobnost RTV materijala doprinosi smanjenju pojave korone usled zagađenja spoljne izolacione opreme, a takođe se primenjuje i kao zaštita od pojave kapi, leda i snega. Ipak, nedostatak oblaganja površine provodnika nanošenjem spreja sa RTV materijalom je smanjenje efikasnosti sa padom temperature, te je njegova primena za sprečavanje zaleđivanja površine provodnika i izolatora upitna.

Iako je sprovedeno malo istraživanja vezanih za oblaganje provodnika nadzemnih vodova RTV materijalom, dobijeni rezultati su obećavajući [26],[27]. U [26] prikazani su rezultati proračuna naponskog gradijenta na površini provodnika za provodnike bez RTV obloge, kao i za provodnike sa RTV oblogom debljine 0,4 mm i dielektričnom konstantom $\epsilon_r = 3$, za dva realna nadzemna voda sa horizontalnim rasporedom faza: 1) standardnih dimenzija, rastojanje između faza 10,20 m – Sl. 2, i za napon mrežne frekvencije 423 kV (u trenutku merenja), i 2) kompaktniji, rastojanje između faza 8,54 m – Sl. 3, i za napon mrežne frekvencije 417 kV. Tip provodnika je ACSR *Cardinal*, prečnik provodnika je 3,042 mm i koriste se dva 2 provodnika u snopu po fazi na rastojanju od 40 cm. Rezultati proračuna su prikazani na Sl. 4 i Sl. 5 [26].

Primenom formula (2) – (6) u softverskom alatu MATLAB izvršen je proračun nivoa buke u okolini ovih nadzemnih vodova. Rezultati proračuna prikazani su u tabelama I i II, kao i na Sl. 6 i Sl. 7. Za nadzemni vod sa manjim međufaznim rastojanjem dobijene su nešto niže vrednosti nivoa buke na odgovarajućim rastojanjima od centralne faze voda, što se može potencijalno objasniti razlikama u nadmorskoj visini i naponu mrežne frekvencije. Kao što se vidi u tabelama I i II, i Sl. 6 i Sl. 7, dobijeno je smanjenje naponskog gradijenta na površini provodnika sa RTV oblogom, kao i poboljšanje u pogledu nivoa buke od 4 – 6 dB.

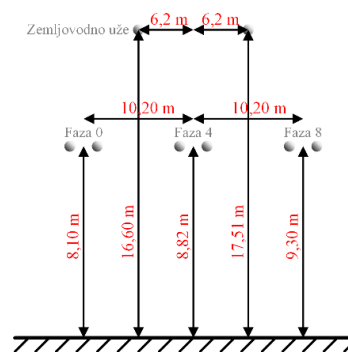
B. Primena provodnika sa upredenim žilama trapezoidnog oblika

U savremenim elektroenergetskim sistemima koriste se različiti tipovi provodnika. Najčešće se koriste provodnici sa okruglim upredenim aluminijumskim žilama, Sl. 8a, a realizuju se i različite vrste unapređenih provodnika, kao što su provodnici sa aluminijumskim žilama trapezoidnog oblika, Sl. 8b, analizirani u [26]. Provodnici sa upredenim žilama trapezoidnog oblika se koriste u poslednje vreme jer imaju veći koeficijent ispunje, pa samim tim za isti odnos Al/Fe, odnosno istu maksimalnu strujnu opteretljivost imaju manji poprečni presek (za oko 10%), a time i manje dimenzije pomoćne opreme. Sa druge strane, smanjenje

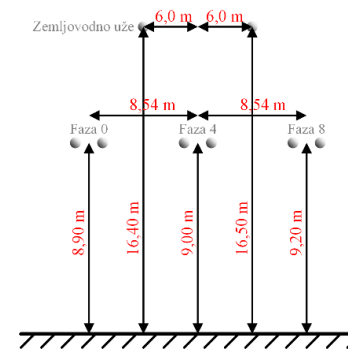


Slika 1. a) Provodnik bez RTV obloge; b) provodnik sa RTV materijalom nanešenim prskanjem [27]

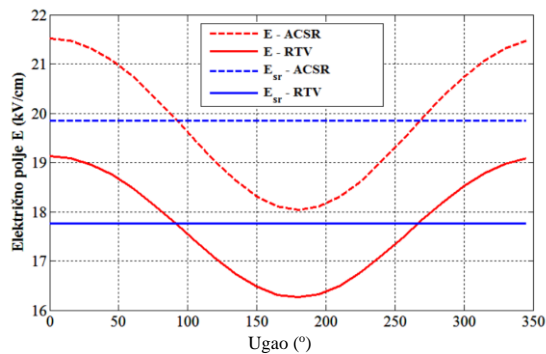
prečnika provodnika zahteva posebnu analizu vrednosti jačine električnog polja na površini ovih provodnika i u njihovoj neposrednoj blizini.



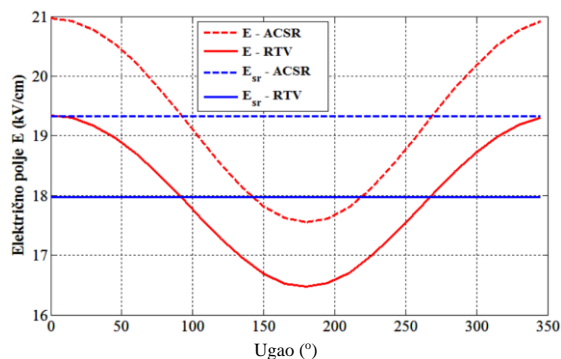
Slika 2. Realan nadzemni vod standardnih dimenzija korišćen u proračunu [26]



Slika 3. Realan kompaktniji nadzemni vod korišćen u proračunu [26]



Slika 4. Uticaj RTV obloge: proračun raspodele naponskog gradijenta na površini provodnika jedne faze nadzemnog voda sa Sl. 2 [26]



Slika 5. Uticaj RTV obloge: proračun raspodele naponskog gradijenta na površini provodnika jedne faze nadzemnog voda sa Sl. 3 [26]

TABELA I. UTICAJ RTV OBLOGE ZA NADZEMNI VOD SA SL. 2

nadmorska visina 485 m	U [kV]	E_{max} [kV/cm]	L_{50} (0 m) [dBA]	L_{50} (20 m) [dBA]	L_{50} (40 m) [dBA]
bez RTV obloge	423	21,5	65,2	62,7	59,3
sa RTV oblogom	423	19,1	59,0	56,5	53,1

TABELA II. UTICAJ RTV OBLOGE ZA NADZEMNI VOD SA SL. 3

nadmorska visina 237 m	U [kV]	E_{max} [kV/cm]	L_{50} (0 m) [dBA]	L_{50} (20 m) [dBA]	L_{50} (40 m) [dBA]
bez RTV obloge	417	21,0	63,3	60,5	57,1
sa RTV oblogom	417	19,3	58,9	56,1	52,7

U [26] izvršena je analiza jačine električnog polja na površini provodnika i u njihovoj neposrednoj blizini za dva tipa provodnika prikazanih na Sl. 8, sa istim odnosom Al/Fe i istom maksimalnom strujnom opteretljivosti. Za referentni proračun su korišćeni isti realni nadzemni vodovi kao kod proračuna poboljšanja primenom RTV obloge (sa provodnikom tipa ACSR *Cardinal*). Rezultati su prikazani na Sl. 9 i Sl. 10. Na isti način kao kod analize uticaja RTV obloge, izvršen je proračun odgovarajućih nivoa buke (prema BPA metodi) i rezultati su prikazani u tabelama III i IV, i Sl. 11 i Sl. 12. Iz podataka datih u tabelama može se zaključiti da je dobijeno smanjenje naponskog gradijenta na površini provodnika kod provodnika sa

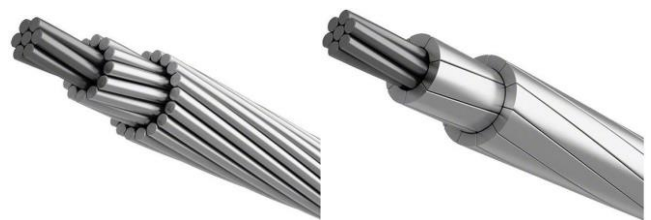
trapezoidnim oblikom upredenih žila, kao i poboljšanje u pogledu nivoa buke od 5 – 7 dB.

ZAKLJUČAK

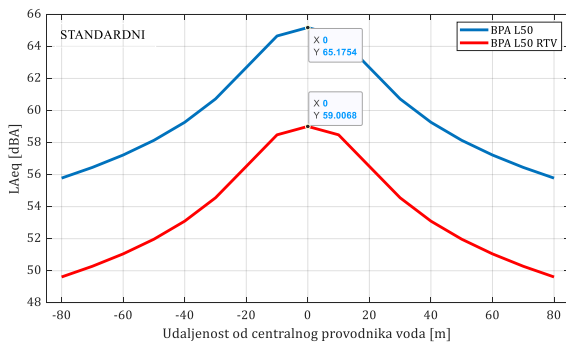
U ovom radu proračunima je pokazano da se nivo buke nadzemnih vodova može smanjiti za do 7 dB primenom mera oblaganja provodnika ili korišćenjem specijalnih provodnika određenih karakteristika u poređenju sa standardnim provodnicima tipa ACSR. Ove rezultate je ipak potrebno proveriti i merenjima u laboratorijskim ili realnim uslovima, i svakako imati u vidu prilikom projektovanja novih deonica visokonaponskih nadzemnih vodova.

ZAHVALNICA

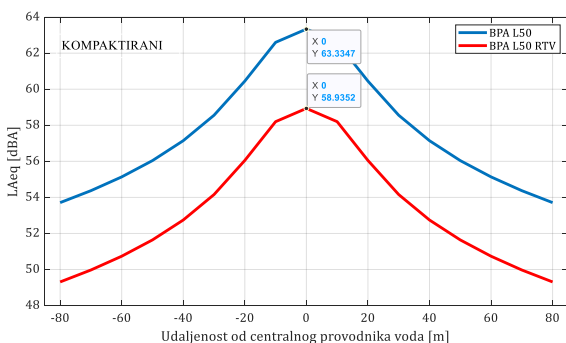
Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva obrazovanja, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.



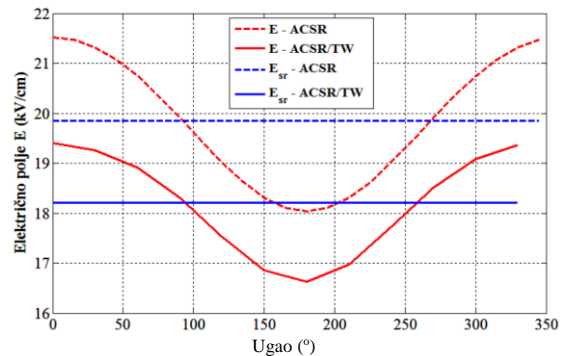
Slika 8. a) Okrugli oblik upredenih žila;
b) trapezoidni oblik upredenih žila [26]



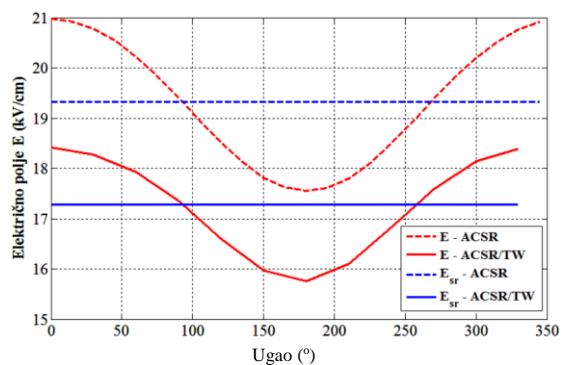
Slika 6. Uticaj RTV obloge: proračun nivoa buke u okolini nadzemnog voda sa Sl. 2



Slika 7. Uticaj RTV obloge: proračun nivoa buke u okolini nadzemnog voda sa Sl. 3



Slika 9. Uticaj tipa provodnika: proračun raspodele naponskog gradijenta na površini provodnika jedne faze nadzemnog voda sa Sl. 2 [26]



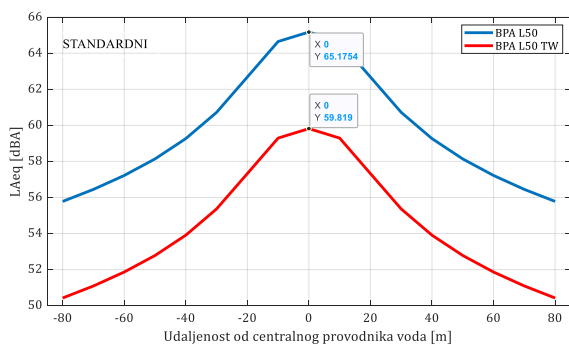
Slika 10. Uticaj tipa provodnika: proračun raspodele naponskog gradijenta na površini provodnika jedne faze nadzemnog voda sa Sl. 3 [26]

TABELA III. UTICAJ TIPA PROVODNIKA ZA NADZEMNI VOD SA SL. 2

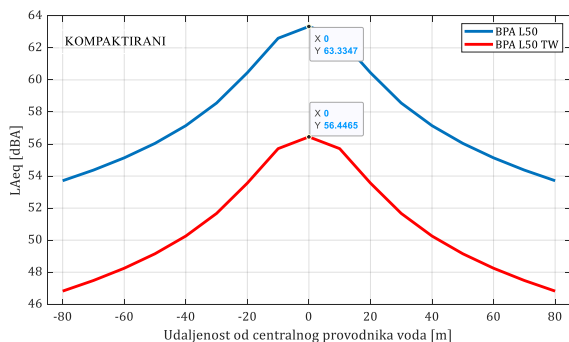
nadmorska visina 485 m	U [kV]	E_{max} [kV/cm]	L_{50} (0 m) [dBA]	L_{50} (20 m) [dBA]	L_{50} (40 m) [dBA]
ACSR <i>Cardinal</i>	423	21,5	65,2	62,7	59,3
ACSR/TW <i>Cardinal</i>	423	19,4	59,8	57,3	53,9

TABELA IV. UTICAJ TIPA PROVODNIKA ZA NADZEMNI VOD SA SL. 3

nadmorska visina 237 m	U [kV]	E_{max} [kV/cm]	L_{50} (0 m) [dBA]	L_{50} (20 m) [dBA]	L_{50} (40 m) [dBA]
ACSR <i>Cardinal</i>	417	21,0	63,3	60,5	57,1
ACSR/TW <i>Cardinal</i>	417	18,4	56,4	53,6	50,3



Slika 11. Uticaj tipa provodnika: proračun nivoa buke u okolini nadzemnog voda sa Sl. 2



Slika 12. Uticaj tipa provodnika: proračun nivoa buke u okolini nadzemnog voda sa Sl. 3

LITERATURA

- [1] EPRI AC Transmission Line Reference Book—200 kV and Above, EPRI, Paolo Alto California, 3rd ed., Final report, December 2005
- [2] F. Kiessling, P. Nefzger, J.F. Nolasco, U. Kaintzyk, "Overhead Power Lines – Planning, Design, Construction," Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003
- [3] P.S. Maruvada, "Corona Performance of High Voltage Transmission Lines," Taylor & Francis Group, London, UK, 2000
- [4] ESKOM Holdings Ltd, T. Pillay, S. Bisnath "The Planning, Design and Construction of Overhead Power Lines, 132 kV & above," Crown Publications cc, Johannesburg, February 2005
- [5] CIGRÉ Technical Brochure 278 „ The Influence of Line Configuration on Environment Impacts of Electrical Origin - Principles of Overhead Line Design," CIGRE Working Group B2.06, 2005
- [6] CIGRÉ Green Book, CIGRÉ, International Council on Large Electric Systems (CIGRE), Paris, France, SC B2 Overhead lines, Konstantin O. Papailiyo Editor, Springer International Publishing Switzerland 2017

- [7] D.E. Perry, "An Analysis of Transmission Line Audible Noise Levels Based upon Field and Three-Phase Test Line Measurements," IEEE Trans. Power App. Syst., PAS-91, pp. 857-865, May/June 1972
- [8] N. Kolcio, B. Ware, R. Zagier, V. Chartier, and F. Dietrich, "The apple grove 750 kV project statistical analysis of audible noise performance of conductors at 775 kV," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-93, No. 3, pp. 831-840, May 1974.
- [9] R.J. Wells, "Subjective Analysis of the Noise from High Voltage Transmission Lines," Proceedings of a Workshop on Power Line Noise as Related to Psychoacoustics, IEEE Publication 74CH0967-0-PWR, 1974
- [10] N.G. Trinh, P.S. Maruvada, "A method of predicting the corona performance of conductor bundles based on cage test result," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. 96, pp. 312-325, 1977
- [11] C. Larsson, B. Hallberg, S. Israelsson, "Long term audible noise and radio noise performance of American electric power's operating 765 kV lines", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. 98, pp. 1853-1859, 1979
- [12] N.D. Lerner, J.D. Lehrman, "Annoyance of Noise fom Power Lines," Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Vol. 3, No. 23, pp. 273-283, 1981
- [13] M. A. Al Faraj, M. H. Shwehdi, A. S. Farag, "Environmental Effect on High Voltage AC Transmission Lines Audible Noise," Energy Conversion Engineering Conference, IECEC-97, Proceedings of the 32nd Intersociety, Vol. 3, pp. 2082-2087, 1997
- [14] U. Straumann, H.J. Weber, "Potential reduction of audible noise from new and aged overhead transmission line conductors by increasing their hydrophilicity," CIGRE, Paris Session 2010
- [15] X. Bian, L. Chen, D. Yu, J.M.K. Alpine, L. Wang, Z. Guan, F. Chen, W. Yao, S. Zhao, "Influence of Aged Conductor Surface Conditions on AC Corona-generated Audible Noise with a Corona Cage," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 19, No. 6; pp. 2017-2043, December 2012
- [16] H.A. Roets, "Effect of Altitude on Audible Noise Generated by AC Conductor Corona," Master Thesis, Stellenbosch University, 2012
- [17] Q. Li, "Acoustic Noise Emitted from Overhead Line Conductors," PhD Thesis, The University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering, 2013
- [18] I. Rozman, M. Bečan, B. Žitnik, I. Kobal, B. Vertačnik, "Evaluation of the Measures to Limit The Corona Noise Implemented on the 400 kV OTL Berčevo – Krško," The 19th International Symposium on High Voltage Engineering, Pilsen, Czech Republic, August, 23 – 28, 2015
- [19] O. Pischler, U. Schichler, "Influence of The Conductor Surface on Ohl Audible Noise Under Foul Weather Conditions," The 20th International Symposium on High Voltage Engineering, Buenos Aires, Argentina, August 27 – September 01, 2017
- [20] E.A. Piana, A. Donini, R. Spezie, R. Turri, R. Cortina, "Prediction of the audible noise generated by corona discharge on a power transmission line: A model validation. In Proceedings of the 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV), London, UK, 23-27 July 2017; International Institute of Acoustics and Vibrations: Auburn, AL, USA, 2017
- [21] M. Ostojić, M. Čalasan, „Procjena vrijednosti korone 400 kV dalekovoda Čevo-Brezna i 400 kV+110 kV dalekovoda Kosanica – Pljevlja," STK C3, R C3 09, V Savjetovanje CG KO CIGRE, Budva, maj 2017
- [22] E.A. Piana, F. Bignucolo, A. Donini, R. Spezie, "Maintenance of a High-Voltage Overhead Transmission Line: Sustainability and Noise Impact Assessment," Sustainability 2018 Vol. 10, No. 491, pp. 1-22, February 2018
- [23] N. Petrović, „Uticaj prečnika provodnika, broja provodnika po fazi, razmaka u snopu i međufaznog rastojanja 400 kV nadzemnih vodova na naponski gradijent provodnika i jačinu buke usled korone," STK B2 Nadzemni vodovi, R B2 03, 33 Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor, 5 – 8. jun 2017
- [24] L. Li, W. Meng, Q. Li, Y. Wang, X. Zheng, H. Wang, "Research Progress on Audible Noise Emitted from HVDC Transmission Lines," Energies 2021, Vol. 16, No. 4614, 2023
- [25] EirGrid Evidence Based Environmental Studies Study 8: Noise, Literature review and evidence based field study on the noise effects of high voltage transmission development, May 2016
- [26] A. Čaršimamović, „Modeliranje napona početka stacionarne korone zasnovano na mjerenjima električnog polja," doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, 2018
- [27] Z. Xu, R. Li, "Research on the Anti-corona Coating of the Power Transmission Line Conductor," Energy and Power Engineering, Scientific Research, 5, pp. 148-150, 2013

ABSTRACT

In alignment with global environmental awareness and the ongoing efforts to address noise pollution concerns, the issue of audible noise emitted by high-voltage overhead lines has regained significance. The noise level depends on conductor types, as well as on the conductor surface conditions. This paper shows the influence of RTV coating and special type of trapezoidal conductors on the noise level compared to standard ACSR conductors.

THE INFLUENCE OF OVERHEAD TRANSMISSION LINE CONDUCTOR PARAMETERS ON CORONA AUDIBLE NOISE

Iva Salom, Milenko Kabović, Vladimir Čelebić, Dejan Todorović, Nebojša Petrović, Nada Curović