

Mr.sci.Adnan Čaršimamović, dipl.ing.el.

Neovisni operator sistema u BiH

Hamdije Čemerlića 2, 71000 Sarajevo

Sarajevo, 28.11.2013.

**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
UNIVERZITETA U SARAJEVU
Zmaja od Bosne bb, Sarajevo**

n/r Vijeće doktorskog studija

Predmet: Molba za odobrenje prijedloga teme (projekta) doktorske disertacije

Obraćam Vam se sa molbom da sukladno pravilima i procedurama Univerziteta u Sarajevu i Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu, odobrite prijedlog teme doktorske disertacije sa radnim naslovom:

**'MJERENJE PARAMETARA ELEKTRIČNOG POLJA VISOKONAPONSKIH LINIJA U
CILJU ANALIZE FAKTORA KOJI UTJEČU NA NAPON POČETKA STACIONARNE
KORONE'**

Molim Vas da se izvrši imenovanje nastavnika/mentora/supervizora, kao i da se zakaže termin odbrane prijedloga teme (projekta) doktorske disertacije.

S obzirom na dosadašnju saradnju u znanstveno-istraživačkom radu, te imajući u vidu problematiku kojom se bavi doktorska disertacija, kao mentora predlažem dr.sci. Aliju Muharemović, dipl.el.inž. redovnog profesora na Odsjeku za elektroenergetiku.

Prijava sadrži:

1. Radni naslov teme doktorske disertacije;
2. Motivacija i cilj istraživanja koje će se sprovesti u okviru predložene disertacije;
3. Kratki pregled literature koja se odnosi na prethodno obavljena istraživanja i koja su direktno vezana za predloženu temu;
4. Metode i resursi (softver i hardver) koji će se koristiti tokom provođenja predloženih istraživanja;
5. Osnovni očekivani doprinosi;
6. Lista referenci kandidata koje su u direktnoj vezi s predloženom temom, kao i lista sveukupnih referenci kandidata

Mr.sci. Adnan Čaršimamović, dipl.ing.el.

1. RADNI NASLOV TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

Bosanski jezik:

'MJERENJE PARAMETARA ELEKTRIČNOG POLJA VISOKONAPONSKIH LINIJA U CILJU ANALIZE FAKTORA KOJI UTJEČU NA NAPON POČETKA STACIONARNE KORONE'

Engleski jezik:

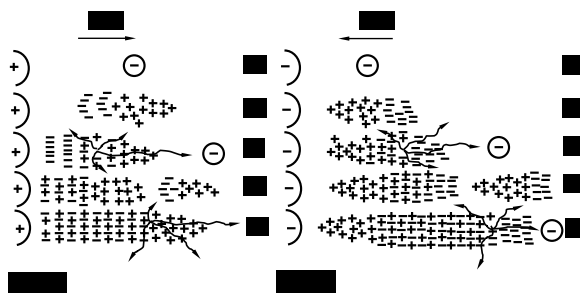
MEASURING PARAMETERS OF ELECTRIC FIELDS OF TRANSMISSION LINE IN ORDER TO ANALYSE OF FACTORS INFLUENCING ON CORONA ONSET VOLTAGE OF STATIONARY CORONA

2. MOTIVACIJA I CILJ ISTRAŽIVANJA KOJE ĆE SE SPROVESTI U OKVIRU PREDLOŽENE DISERTACIJE

Izmjenične (AC) i istosmjerne (DC) linije se koriste za prijenos velikih snaga na velikim rastojanjima. AC linije su ekonomičnije od DC linija za rastojanja do 800 km [1], tako da se AC linije više koriste od DC linija. Za više naponske nivoe, gubici korone postaju ograničavajući faktor prilikom izbora električnih i geometrijskih parametara dalekovoda uvažavajući atmosferske uvjete kroz koje dalekovodi prolaze. Korona je samoodržavajuće parcijalno pražnjenje u zraku pri neuniformnom električnom polju oko vodiča priključenog na napon. Kada vrijednost napona na vodiču dostigne kritični napon V_c , vrijednost električnog polja na površini vodiča postaje dovoljno visoka da ionizira zrak u neposrednoj blizini vodiča. Korona pražnjenje na visokonaponskim linijama značajno ovisi o vrijednostima napona i električnog polja na površini vodiča i u njegovoj neposrednoj blizini, pri kojima proces ionizacije započinje. Brojni su efekti koji se povezuju sa korona pražnjenjem, kao što su vidljivo žarenje, zvučni šum, gubici snage, elektromagnetske smetnje (radio i TV smetnje), mehaničke vibracije i kemijske reakcije koje mogu dovesti do oštećenja novih materijala (polimernih izolatora) usljed ubrzanog starenja. Sa aspekta elektroenergetskog sistema, veoma je bitno analizirati fenomen korone i njenih gubitaka snage, kao i efekata koji na njih utječu. Gubici korone nastaju kretanjem prostornog naboja u međuelektrodnom rastojanju. Pri DC koroni, tok iona je jednosmjernan od vodiča pod naponom prema površini zemlje. Za slučaj AC korone, prostorni naboji su vezani u blizini vodiča radi periodičkih promjena električnog polja i kao posljedica toga, nastaje proces odbijanja i privlačenja prostornih naboja. Jedan od dodatnih razloga provođenja potrebnih analiza korone na vodičima je uvođenje kompaktnih prijenosnih linija koje uvjetuju veće vrijednosti električnih polja na površini vodiča radi manjih rastojanja između faza.

Fizikalni proces nastanka korone

DC korona. Proces razvijanja DC korone ovisi o polaritetu priključenog napona na vodiču. Dostizanjem vrijednosti napona početka korone pozitivnog polariteta, formira se volumen u prostoru oko vodiča (anode) u kome je vrijednost električnog polja dovoljno velika da uzrokuje ionizaciju sudarima slobodnih elektrona sa atomima, Slika 1.a.) a.

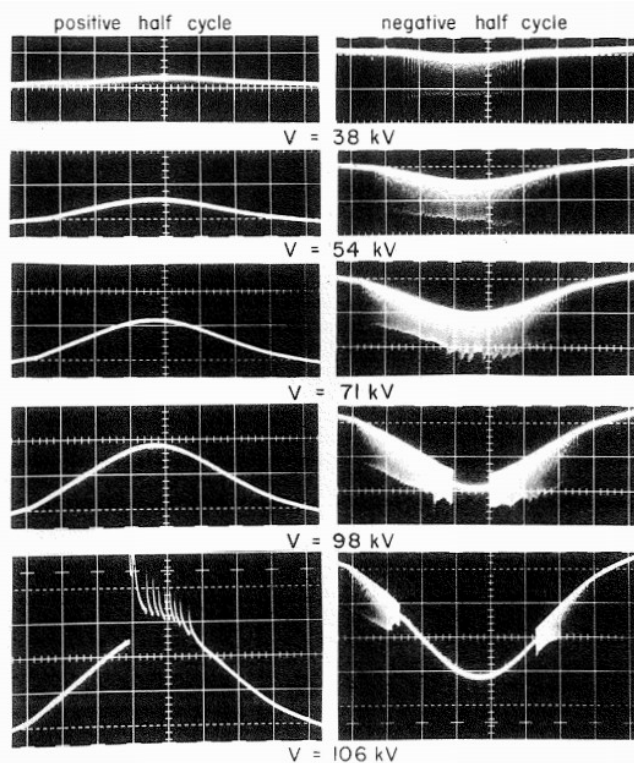


Slika 1. Nastanak strimera u blizini koaksijalne elektrode [2]

- a.) Razvoj pozitivnog strimera od slobodnog elektrona (a), lavine (b), (c), početka strimera (d) do žarenja (e)
- b.) Razvoj negativnog strimera od slobodnog elektrona (a), lavine (b), (c), strimera i narednih lavina (d) i stabla (e)

Slobodni elektron, vođen poljem, formira sudarima elektronsku lavinu, Slika 1.a.) b. i c. Uz elektrone i pozitivne ione postoje i pobuđene molekule nastale sudarima sa elektronima koji im predaju višak energije u vidu isijavanja fotona. Pozitivni ioni i fotoni stvaraju sekundarnu emisiju elektrona koji pomažu u održavanju pražnjenja. Ako je vrijednost polja uz anodu dovoljno velika, mogu nastati strimeri koji se protežu tangencijalno u odnosu na anodu, Slika 1.a.) d. Daljnjim povećanjem napona pražnjenje poprima formu 'žarenja' koje obuhvata skoro cijelu površinu vodiča, Slika 1.a.) e. Pri početnoj vrijednosti napona početka korone negativnog polariteta, korona poprima brz i stabilan pulsirajući mod, tzv. Trichlerove pulsacije, Slika 1.b.) a i b. Tokom procesa razvijanja lavine neki fotoni se isijavaju iz lavine u svim smjerovima, Slika 1.b.) b i c. Fotoelektroni na taj način uvjetuju početak narednih lavina usmjerenih od katode, Slika 1.b.) d. Porastom priključenog napona korona prelazi u stacionarno negativno žarenje, Slika 1.b.) e.

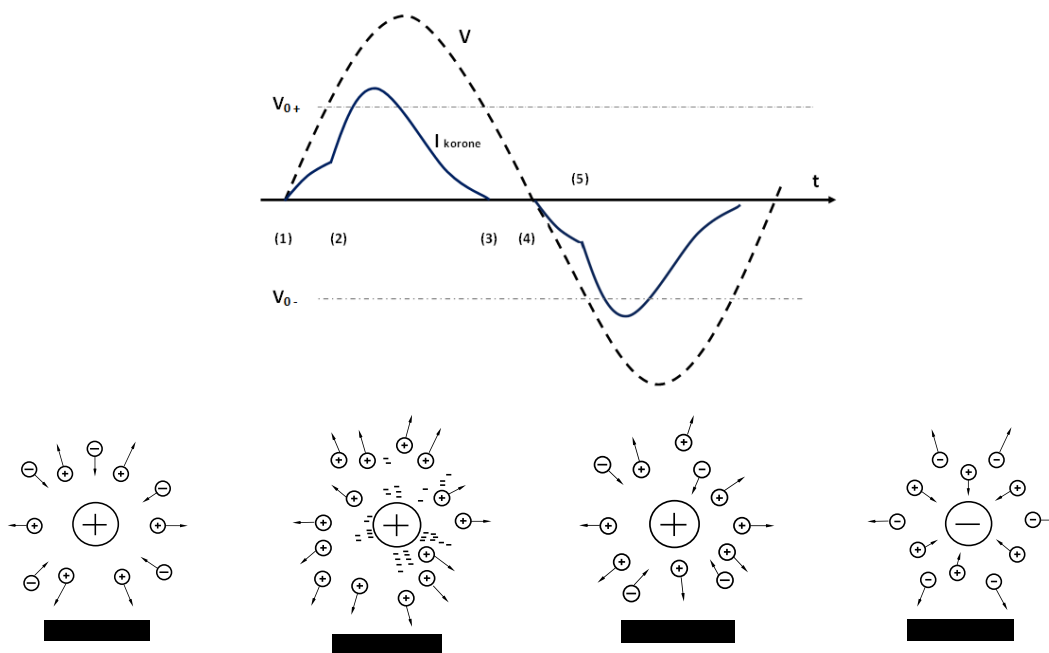
AC korona. Osnovna razlika između AC i DC korone je periodska promjena polariteta priključenog električnog polja i njegov utjecaj na zaostale prostorne naboje nakon pražnjenja tokom prethodnog poluciklusa izmjeničnog napona. Na taj način pozitivni početni strimeri i žarenje se mogu pojaviti samo iznad napona početka korone, praćenih pozitivnim žarenjem. Pri AC koroni se mogu primjetiti i negativni Trichelovi impulsi i negativno žarenje. Ako priključeni napon ima značajnu amplitudu, onda ovisno o geometriji elektroda, i pozitivno i negativno žarenje i strimer korone se mogu primjetiti pri svakom ciklusu, Slika 2.



Slika 2. Modovi AC korone [3]

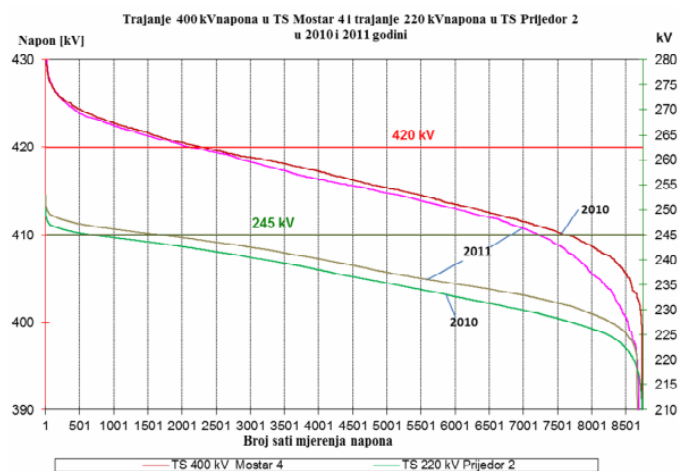
Kada priključeni napon na vodič radijusa r i visine h iznad površine zemlje dostigne vrijednost kritičnog napona $V_{0\pm}$, električno polje na površini vodiča postaje dovoljno veliko da ionizira zrak u neposrednoj blizini vodiča. Vrijednost električnog polja naziva se početno polje $E_{0\pm}$, ovisno o polaritetu poluciklusa AC napona, Slika 3. Korona pražnjenje započinje kada vrijednost električnog polja pređe početnu vrijednost $E_{0\pm}$, naboji istog polariteta kao i vodič emitiraju se u prostor i udaljavaju se od vodiča u obliku ovojnice. Naboji unutar ovojnice povećavaju vrijednost polja u prostoru izvan ovojnice, apsorbirajući na taj način dio priključenog napona. Smanjenje polja na površini vodiča uvjetuje porast induciranih naboj suprotnog polariteta. Povećanje prostornih naboj usljed nove emisije izvan ovojnice uzrokuje smanjenje polja na površini vodiča i time usporavanje

emisije. Vrijednost polja na površini koronirajućeg vodiča se ne mijenja značajno u odnosu na njegovu početnu vrijednost.



Slika 3. AC korona na vodiču [4]

Gubici AC korone. Napon u čvorištima i na zračnim vodovima elektroenergetskog sistema (EES), uz frekvenciju i neprekidnost napajanja, osnovni su pokazatelji kvalitete električne energije. Održavanje napona u deklariranim granicama znači optimalan rad opreme i potrošača električne energije, a ujedno i minimalne gubitke u prijenosu električne energije od izvora do krajnjeg potrošača. Naponske prilike diktiraju proizvodnja i potrošnja, kao i gubici snage na cijelom prijenosnom putu od izvora do potrošača, pa tako i na prijenosnoj mreži. Previsoki naponi, odnosno naponi iznad dozvoljenih granica nepovoljno utječu na izolacijske karakteristike opreme smanjujući vijek trajanja izolacije, a istovremeno utječu na povišene gubitke u elektroenergetskom sistemu (EES). Podopterećena prijenosna mreža, odnosno vodovi opterećeni ispod prirodne snage, što je redovna pojava na 400 kV i dijelu 220 kV mreže u Bosni i Hercegovini (BiH), ali i susjednim sistemima, značajan su izvor povećanja napona iznad maksimalno dozvoljenih vrijednosti. Pojava povišenih napona u čvorištima EES BiH obično se događa u noćnim satima i to najčešće u režimima minimalnog opterećenja. Povišeni naponi se javljaju tokom čitave godine, ali su najizraženiji u trećem, četvrtom i petom mjesecu. Na Slici 4 dati su primjeri trajanja nedozvoljenih povišenih napona 400 i 220 kV nivoa napona tokom 2010. i 2011. godine u čvorištima TS Mostar 4 (24-26%) i TS Prijedor 2 (8-19%) [5,6].



Slika 4. Dijagram trajanja povišenih napona u 400 i 220 kV mreži tokom 2010. i 2011. godine [5,6]

Povećavanjem vrijednosti napona na VN vodovima, nastaje korona usljed ionizacije zraka oko faznih vodiča. Slobodni elektroni postoje u prostoru kao posljedica prirodne radioaktivnosti i kozmičkog zračenja. Porastom potencijala između vodiča, raste i gradijent električnog polja oko površine vodiča.

Pražnjenja na površini vodiča zračne linije usljed korone nastaju u trenutku kada jakost električnog polja na površini vodiča pređe probojnu čvrstoću zraka. Proboj zraka u tom području uzrokuje svjetlosni efekt, zvučne i radio šumove, vibraciju vodiča, ozon i ostale produkte, i uzrokuje rasipanje energije koja se troši iz sistema.

Prema podacima iz literature u Sjedinjenim Američkim Državama [7], godišnji gubici u prijenosu i distribuciji usljed korone iznose između 0.083% (1.87 kW/km) ukupnih gubitaka snage na 1000 km pri lijepom vremenu i 3.7% (84.3 kW/km) gubitaka snage na 1000 km pri lošem vremenu. Za navedene gubitke i srednju cijenu električne energije, tokom jednog dana, pri kišovitom vremenu, na 100 km dužine, vrijednost gubitaka snage iznosi oko 25.000 \$. Autori Abdel-Salam i dr. [8, 9] navode da su izmjerene vrijednosti gubitaka korone pri lošem vremenu reda 0.3 do 1.7 kW/vodič km za 500 kV linije i od 0.7 do 17 kW/vodič km za 700 kV linije. Uzimajući u obzir vrijednosti gubitaka koje uzrokuje korona, veoma je važno odrediti napon početka korone u cilju poznavanja njihove konkretne vrijednosti u prijenosnoj mreži BiH sa aspekta troškova održavanja i upravljanja elektroenergetskim sistemom, kao i istražiti načine za njihovo smanjenje.

U svim izrazima za gubitke korone, dominantan je efekt napona sistema i napona početka korone. Dobro poznavanje napona početka korone uvjet je za tačan proračun gubitaka korone.

Veličina napona početka korone ovisi o slijedećim faktorima:

- veličini (radijusu) vodiča,
- geometriji rasporeda vodiča (konfiguracija, visina iznad zemlje, rastojanje između vodiča),
- broju podvodiča u snopu,
- raspodjeli električnog polja po obimu vodiča,
- atmosferskim faktorima (relativna gustoća zraka, prisustva prašine i zagađivača, kiša, snijeg, inje, magla),
- nadmorskoj visini,
- hrapavosti (nehomogenosti) površine vodiča.

Gubici snage usljed korone ovise o nekoliko faktora [3, 10-11]:

- napon sistema,
- napon početka korone,
- frekvencija.

Prethodna istraživanja AC korone, koja nisu dala sveobuhvatni uvid u utjecaje svih faktora na vrijednosti napona početka korone, kao i činjenica da je relativno dug period trajanja povišenih napona u elektroenergetskom sistemu Bosne i Hercegovine, poslužila su za izradu prijedloga teme doktorske disertacije. Ova disertacija treba da odgovori na pitanja o mogućnostima povećanja napona početka korone i smanjenja trajanja povišenih napona u elektroenergetskom sistemu Bosne i Hercegovine.

Cilj istraživanja koja će se provesti u doktorskoj disertaciji je da se na osnovu provedenih eksperimentalnih istraživanja vrijednosti električnih polja/napona na karakterističnim 400 kV dalekovodima u Bosni i Hercegovini i pomoću modela za proračun električnih polja na suvremenim računarskim programima, utvrde realne vrijednosti električnih polja/napona na karakterističnim dalekovodima u Bosni i Hercegovini. Istražit će se utjecaj dalekovoda klasičnih dimenzija kao i 400 kV kompaktnog dalekovoda (smanjenih dimenzija glave stuba) na potezu TS Tuzla 4 – TS Višegrad. Tokom istraživanja provest će se eksperimentalna mjerenja vrijednosti električnih polja pri različitim visinama iznad zemlje, nadmorskim visinama, temperaturama, pritiscima, vlažnostima i rastojanjima između vodiča. Na osnovu usporedbe dobivenih eksperimentalnih mjerenja i računarskih simulacija,

uspostaviti će se model za proračun vrijednosti električnih polja/napona na površini i neposrednoj blizini površine visokonaponskih vodiča, uzimajući u obzir sve relevantne faktore koji utječu na vrijednost početnog napona korone. Na osnovu dobivenih rezultata analizirat će se i načini smanjenja električnog polja/napona na površini vodiča, tj. smanjenja gubitaka korone korištenjem posebnih konstruktivnih zahvata na dalekovodima.

LITERATURA

1. M.E. El-Hawary, *'Electric Power Systems: Design and Analysis'*, Virginia:Reston Publishing Company, USA, 1986
2. A.Haddad, D.Warne, *'Advances in High Voltage Engineering'*, IET Power and Energy Series 40, 2004
3. *EPRI AC Transmission Line Reference Book-200 kV and Above*, Third Edition, 2005
4. M. Abdel-Salam, H. Anis, A.El-Morsedy. R.Radwan, *'High-Voltage Engineering-Theory and Practice'*, Second Edition, Marcel Dekker, Inc., 2000
5. Z. Bajramović, S. Hadžić, M. Veleđar, O.Hadžić, *'Povišeni naponi pogonske frekvencije u 220 kV i 400 kV prenosnoj mreži'*, 11. Savjetovanje bosanskohercegovačkog komiteta CIGRE, Neum, 2013
6. Z.Bajramović, M.Veleđar, S.Hadžić, S.Čaršimamović, A.Čaršimamović, *'Temporary Power Frequency Overvoltage in 220 kV and 400 kV Transmission network'*, CIGRE C4 Colloquium on Power Quality and Lightning, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, May 2012
7. Hydro-Quebec Institute of Research, N.G.Trinh, P.S.Maruvada and B.Poirier, *'A Comparative Study of the Corona Performance of Conductor Bundles for 1200 kV Transmission Lines'*, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-93, 940 (1974)
8. M. Abdel-Salam, H.Anis, A. El-Morshedy, R. Radwan, *'High-Voltage Engineering, Theory and Practice'*, M.Dekker, Inc., 2000
9. Electrical Power Research Institute, *'Transmission Line Reference Book, 345 kV and above'*, Palo Alto, CA, Project ZHV, 1979
10. R.D.Begamunde, *'Extra High Voltage Transmission Engineering'*, NEW AGE INTERNATIONAL (P)LIMITED PUBLISHER, New Delhi, 2006
11. P.S.Maravuda, *'Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines'*, Research Studies Press Ltd.Baldock, Hertfordshire, England, 2000

3. KRATKI PREGLED LITERATURE KOJA SE ODNOSI NA PRETHODNO OBAVLJENA ISTRAŽIVANJA I KOJA SU DIREKTNO VEZANA ZA PREDLOŽENU TEMU

Kada električno polje u blizini vodiča visokonaponskih linija pređe probojnu čvrstoću okolnog zraka, mali volumen oko vodiča postaje vodljiv. Unutar tog volumena, zvanog zona ionizacije, električno polje je dovoljno jako da je oslobađanje elektrona (ionizacija) veće od njihovog vezivanja, tako da pražnjenje unutar zone ionizacije postaje samoodrživo [1]. Pražnjenje uzrokuje nastanak pozitivnih iona i negativnih naboja (elektrona i iona). Naboji suprotnog polariteta od polariteta vodiča kreću se prema njemu i mogu biti neutralizirani na površini vodiča. Ioni istog polariteta kao i vodič kreću se od njega prema zemlji ili drugim vodičima formirajući prostorne naboje istog polariteta [2]. Za kretanje tih prostornih naboja mora se trošiti snaga iz sistema.

U AC prijenosnim linijama, prostorni naboji stvoreni koronom vezani su u neposrednoj blizini vodiča radi periodičke promjene električnog polja. Većina istraživanja AC korone je eksperimentalnog tipa, dok je veoma mali broj teoretskih istraživanja zbog složenih karakteristika AC korone. Istraživanja su

provedena u cilju određivanja gubitaka AC korone na različitim naponskim nivoima. Na osnovu tih istraživanja, pokazalo se da su gubici korone u direktnoj ovisnosti od veličine napona sistema i napona početka korone (električnog polja početka korone) [3] .

Napon početka korone na površini vodiča ovisi o naponskom nivou sistema i funkcija nekoliko faktora, kao što su veličina i aranžman vodiča, ambijentalni uvjeti (temperatura, pritisak i vlažnost zraka), uvjeti površine vodiča, raspodjela jakosti električnog polja po površini vodiča, nadmorske visine i dr. Analitički izrazi dobiveni na osnovu eksperimenata i numeričkih proračuna koriste se kao podatak za operatore i korisnike u cilju određivanja maksimalnih vrijednosti napona do kojih se mogu koristiti određene prijenosne linije bez značajnijeg efekta korone.

Da bi se odredio napon početka korone, razvijeni su empirijski izrazi koji ovise o nizu faktora, kao što su napon, veličina i geometrija vodiča, atmosferski uvjeti, stanje površine vodiča i dr.

Peek je prvi u svom radu [4] iznio izraze za vizualni kritični gradijent¹,

$$g_v = m_v g_0 \delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r}} \right) kV/cm \quad (1)$$

gdje je $g_0 = 21,1 \text{ kV}_{\text{eff}}/\text{cm}$ ili $29,8 \text{ kV}_{\text{vršno}}/\text{cm}$, probojni gradijent u zraku, m_v -faktor nehomogenosti površine vodiča, $\delta = \frac{3.92b}{273+t}$ faktor gustoće zraka, b -barometarski pritisak zraka u cm, t -temperatura zraka u $^{\circ}\text{C}$, r -radijus vodiča u cm. Kritični vizualni napon prema zemlji je dat izrazom,

$$e_v = m_v g_0 \delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r}} \right) \log_e \frac{S}{r} \text{ kV}_{\text{eff}}, \quad (2)$$

gdje je S -rastojanje između centara vodiča u cm. Iz izraza (1) i (2), vidljivo je da se električno polje i napon početka vizuelne korone odnose kao,

$$g_v = \frac{e_v}{r \log_e \frac{S}{r}}. \quad (3)$$

Whitehead je u radu [5] dao izraze za vrijednosti električnog polja nastanka korone na površini vodiča u obliku,

$$E_+ = 33.7\delta + 11,5\sqrt{\frac{\delta}{d}} \text{ za pozitivni DC napon,} \quad (4)$$

$$E_- = 31.02\delta + 13,5\sqrt{\frac{\delta}{d}} \text{ za negativni DC napon, i} \quad (5)$$

$$E_- = 33.7\delta + 12,6\sqrt{\frac{\delta}{d}} \text{ za AC napon.} \quad (6)$$

Isti autor u svom radu [6] daje izraze za vrijednost električnog polja nastanka korone,

$$E_- = 40.3\delta + 11,96\sqrt{\frac{\delta}{d}}. \quad (7)$$

Neki drugi autori [7] su iznijeli relacije za određivanje vrijednosti električnog polja početka korone u obliku

¹ Izraz za električno polje pomoću napona u vektorskoj formi je $E = -\nabla V = -\left[\vec{a}_r \frac{\partial}{\partial r} + \vec{a}_\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} + \vec{a}_z \frac{\partial}{\partial z} \right] V$ i

ova se parcijalna derivacija naziva gradijent

$$E_{0\pm} = A_{\pm}\delta + B_{\pm}\sqrt{\frac{\delta}{r}}, \quad (8)$$

gdje je δ relativna gustoća zraka, r radijus vodiča u cm, $A_{\pm}$ i $B_{\pm}$ konstante procijenjene eksperimentalno i date u Tab. 1.

Tabela 1. Eksperimentalno određene konstante $A_{\pm}$ i $B_{\pm}$ korištene u empirijskom izrazu (8)

Ref.	A_+ (kV/cm)	A_- (kV/cm)	B_+ (kV/cm)	B_- (kV/cm)
[8]	35	31.6	8.42	8.08
[9]	31	29.4	11.76	9.92

U radu [10] autori iznose empirijski izraz za vrijednost električnog polja početka korone u obliku

$E_{0\pm} = A_{\pm}\delta + B_{\pm}\sqrt{\frac{\delta}{r}}$, pri čemu je vrijednost $E_{0\pm}$ ona vrijednost pri kojoj korona započinje u prvom pozitivnom ili negativnom poluciklusu izmjeničnog napona. U narednim poluciklusima, korona započinje pri jakosti električnog polja koja je nižih vrijednosti u odnosu na $E_{0\pm}$ usljed efekta zaostalih prostornih naboja.

Autori Abdel-Salam i dr. [11] su dali vrijednost za vrijednost električnog polja početka korone na površini vodiča za AC napone iznosi $E_0=30\delta$ kV_{vršno}/cm, dok nešto veća jakost električnog polja E_v odgovara vidljivoj koroni na površini vodiča.

U radu [3] autori iznose izraze za vrijednosti jakosti električnog polja početka korone tokom pozitivnog i negativnog poluciklusa priključenog AC napona u obliku,

$$E_{0+} = m_0 \cdot \left(33.7 + \frac{8.13}{\sqrt{r}} \right) \text{ kV/cm}, \quad (9)$$

$$E_{0-} = m_0 \cdot \left(31.0 + \frac{9.55}{\sqrt{r}} \right) \text{ kV/cm}, \quad (10)$$

gdje je r radijus vodiča u cm, a m_0 faktor površine vodiča. Pretpostavljeno je da su tokom trajanja korone u svakom poluciklusu, naboji na površini ostali isti kao i pri početnoj vrijednosti početka korone. Vrijednost električnog polja početka korone se koristi za definiranje odgovarajućih početnih pozitivnih i negativnih naboja za svaki fazni vodič.

Peek [12] je prvi dao empirijski izraz za gubitke korone na osnovu eksperimentalnih istraživanja, u kojem su gubici korone bili kvadratna relacija razlike napona sistema, V i napona početka korone, V_0

$$P_c = f[(V - V_0)^2],$$

a Rayan i Henline [13] su dali izraz za gubitke korone,

$$P_c = f[V(V - V_0)]$$

Petersen [14] je dao slijedeći oblik gubitaka u funkciji napona početka korone,

$$P_c = V^2 f[(V/V_0)]$$

Izraze za gubitke korone u funkciji električnog polja dali su autori Nigol i Cassan [15],

$$P_c = f\left[E^2 \ln \frac{E}{E_0}\right],$$

te Anderson i dr. [16],

$$P_c = f[V \cdot E^5]$$

Clade i dr. [17] su razvili numerički model za određivanje gubitaka AC korone na koaksijalnim konfiguracijama, pri čemu su pretpostavljali da se ionizacija završava kada napon pređe vršnu vrijednost i počnu opadati prostorni naboji oko vodiča. Ciklus se nastavlja sve dok ne započne ionizacija u poluciklusu suprotnog polariteta. M. Abdel-Salam i dr. [18-19] sračunali su napon početka korone i gubitke snage usljed korone za jednostruke i dvostruke trofazne prijenosne linije koristeći tehniku simulacije naboja. Predloženi metod koristi nekoliko pretpostavki od kojih su najvažnija da je električno polje konstantno na površini vodiča tokom trajanja korone, završetak korone je na vrhu priključenog napona i efekt zaostalih prostornih naboja od prethodnog poluciklusa priključenog AC napona je smanjenje napona početka korone u tom poluciklusu.

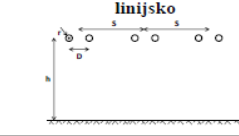
K.Yamazaki i R.G.Olsen [20] su iznijeli stav da proračun električnog polja na površini ravnih vodiča i pretpostavka da korona počinje pri nekoj kritičnoj vrijednosti gradijenta napona ne odgovara, jer električno polje na površini vodiča ne karakterizira potpuno napon početka za upredene vodiče. Autori smatraju da je napon početka korone funkcija raspodjele električnog polja na površini vodiča, neravnina na površini vodiča i atmosferskih prilika oko vodiča pod naponom.

Autor [21] je dao izraze za raspodjelu gradijenta napona na podvodičima snopa visokonaponskih prijenosnih linija horizontalnog rasporeda vodiča za slučaj 1 do 6 podvodiča u snopu.

M. Mohamadi i dr. [22] su koristeći metodu konačnih elemenata izračunali gubitke AC korone u prijenosnim linijama i usporedili ih sa gubicima korone DC prijenosnih linija.

Autori [23] su koristeći Mangoldt formulu [21] odredili maksimalnu vrijednost gradijenta napona na površini vodiča za slučaj jednog vodiča i 2-4 podvodiča u snopu za konkretnu 400 kV liniju elektroenergetskog sistema u Bosni i Hercegovini. Utvrđeno je da se maksimalne vrijednosti gradijenta napona vanjskih vodiča u odnosu na vodič srednje faze razlikuju i do 5.3%.

Tabela 2. Maksimalna vrijednost električnog polja na površini vodiča u ovisnosti od broja vodiča u snopu i radijuse

 Maksimalni radni napon, kV,eff linijsko	Broj vodiča u snopu i radijus, cm	Maksim. gradijent kV/cm, eff		Razlika, %
		Vanjske	srednja	
424	 1x1,53 cm	23,98	24,02	0,1%
424	 2x1,53 cm	16,97	17,66	5,1%
424	 3x1,53 cm	13,43	14,15	5,3%
424	 4x1,53 cm	10,35	10,9	5,31%

Utjecaj efekata radijusa i broja vodiča u snopu i nehomogenosti površine istraživao je L.N.Stone u svom radu [24]. Zaključio je da je efekt upređanja vodiča različit za vodiče većeg radijusa u odnosu na vodiče manjeg radijusa. Smanjenje napona početka korone je izraženije za vodiče većeg radijusa u odnosu na vodiče manjeg radijusa, za iste vrijednosti faktora upređanja.

Autori N.G.Trinh i dr. su u svom radu [25] analizirali performanse snopa vodiča dobijene uz korištenje ispitnih kaveza. Autori su korištenjem eksperimentalnih rezultata dobivenih na jednom vodiču predvidjeli performanse snopa vodiča višefaznih linija.

Performanse korone kompaktnih 230 kV linija istražili su V.L.Chartie i dr. [26]. U radu su autori izvršili provjeru tačnosti EPRI i BPA metoda za kompaktne 230 kV linije i eksperimentalnih rezultata

nivoa RI i AN na jednofaznim modelima. Ustvrdili su da se nivoi RI i AN značajnije razlikuju za uvjete jake kiše i pri suhom vremenu.

Vrijednosti električnih i magnetskih polja 220 kV i 400 kV linija standardnih i kompaktiziranih dimenzija su istraživane u radu [27]. Utvrđeno je da su nivoi jakosti električnog polja na visini 1 m iznad zemlje niži za kompaktne izvedbe, u odnosu na linije sa standardnim dimenzijama.

U radu autora X.Bian i dr. [28] su istraživani utjecaji različitih pritisaka i nivoa vlažnosti na napon početka DC korone, a M.Abdel-Salam i dr. su u svom radu [29] istraživali utjecaj temperature na početni napon pozitivne DC žareće korone.

Yunpeng i dr. su u radu [30] istraživali uticaj kiše na gubitke korone u visokonaponskim AC prijenosnim linijama, dok je autor A.S.Timascheff u svom radu [31] istraživao utjecaj snijega na dielektričnu konstantu zraka i njen utjecaj na gubitke korone. Autori K.lahti i dr. su u svom radu [32] istraživali gubitke korone na prijenosnim linijama u uvjetima pojave inja na površini vodiča u klimatskoj komori Tampere University of Technology. Ustvrdili su da snop od dva podvodiča ima 2.5-5 puta veće gubitke korone u odnosu na snop od tri podvodiča.

Autori M.Bountlenty i dr. su u svom radu [33] mjerili efekt vlažnosti na pozitivnu DC koronu na osnovu V-I karakteristike pri atmosferskom pritisku kao i preskok zazora šiljak-ravan. U radu [34] autori P.A.Calva i dr. su istraživali efekt vlažnosti na pozitivnu i negativnu DC koronu putem V-I karakteristika, pri niskom pritisku zraka i zaključili da vlažnost značajnije utječe na koronu pri opadanju vrijednosti pritiska. Autori C.T.Phelps i dr. su u svom radu [35] istraživali ovisnost ambijentalnog električnog polja potrebnog za održavanje prostiranja pozitivnog korona strimera za različite pritiske i sadržaj vodene pare.

Autori M.Minhua i dr. su u svom radu [36] istraživali utjecaj zagađenja na vodičima na karakteristike HVDC korone, a u radu [37] autori A.P.Fews i dr. su istraživali gubitke korone visokonaponskih linija izloženih aerosolnim zagađivačima.

Autori C.Eroncel i dr. su u svom radu [38] istraživali vrijednost početnog napona i korona gubitaka na ispitnom korona kavezu u unutranjim uvjetima.

U radu [39] autori P.Heroux i dr. su istraživali postizanje hidrofiličnosti vodiča visokonaponskih linija pomoću CISC metode (Capillary Ion-Shielded Conductor) u cilju povećanja napona početka korone.

Autor M.Abdel-ASalam je u svom radu [40] istraživao utjecaj vanjske temperature zraka na napon početka negativnog DC korona praznjenja, dok je autor V.L.Chartier u radu [41] istraživao utjecaj povećanja temperature vodiče povećane usljed proticanja struje tereta na napon početka korone.

Iz svega iznesenog može se zaključiti da je većina istraživanja provedena eksperimentalno i to na DC prijenosnim linijama i da su u većini slučajeva istraživani pojedinačni, a ne ukupni efekti na napon početka korone i gubitke korone. Za detaljan proračun gubitaka AC korone u stacionarnim uvjetima potrebno je što tačnije definirati vrijednosti napona početka korone i istražiti različite faktore koji utječu na njegove vrijednosti. Sve se ovo provodi u cilju određivanja što tačnijih gubitaka snage uslijed AC korone.

LITERATURA

- [1] M. Abdel-Salam et al., *'Electrical Breakdown in Gases, High Voltage Engineering Theory and Practice'*, M. Dekker, New York, 2000
- [2] J. J. Clade, C. H. Gary and C. A. Lefevre, *'Calculation of Corona Losses beyond the Critical Gradient in Alternating Voltage'*, IEEE Trans. PAS., Vol. 88, pp. 695-703, 1969
- [3] M Abdel-Salam, E. Z. Abdel-Aziz, *'Corona power loss determination on multi-phase power transmission lines'*, Electric Power System Research 58 (2001), pp. 123-132
- [4] F. W. Peek, *'Law of corona and the dielectric strength of air'*, American Institute of Electrical Engineering, 28th Annual Convention, 1911

- [5] J. B. Whitehead and W. S. Brown, '*Electric Strength of Air_VII*', Fifth Midwinter Convention of American Institute of Electrical Engineers, 1917
- [6] J. B. Whitehead and F. W. Lee, '*The Electric Strength of Air under Continuous Potentials and as Influenced by Temperature*', 37th Annual and 10th Pacific Coast Convention of the American Institute of Electrical Engineers, 1921
- [7] J.P.Holtzhansen, W.L. Vosloo, '*High Voltage Engineering Practice and Theory*'
- [8] S.P.Farwell, '*The Corona Produced by Continuous Potential*', AIEEE Trans. Power Apparatus & Systems, Vol. 33, pp.1631-1671, 1914
- [9] W.Stockmeyer, '*Koronaverluste bei hoher Gleichspannung*', Wiss. Veröfl. Siemens, Vol. 3, 2 No., pp.27-31, 1934
- [10] M. Abdel-Salam and D. Shamloul, '*Computation of ion-flow fields of AC coronating wires by charge simulation technique*', IEEE Trans. Elec. Insul., EI-27(2), 1988
- [11] M. Abdel-Salam, H.Anis, A. El-Morshedy, R. Radwan, '*High-Voltage Engineering, Theory and Practice*', M.Dekker, Inc., 2000
- [12] F.W.Peek, '*Dielectric Phenomena*', McGraw –Hill Book Company, 1920
- [13] Haris J.Rayan and Henry H.Henline, 'The Hysteresis Character of Corona Formation', Trans. of AIEE, Vol. XLIII, pp.1118-1124, Jan. 1924
- [14] Wm.S.Peterson, 'Discussion on paper Design of Transmission Lines', autora Carrol and Cozzens, AIEE, march 1933
- [15] O.Nigol and J.G.Cassan, 'Corona Loss research at Ontario Hydro Coldwater Project', Trans. on AIEE, Vol. 80, Issue 3, pp.304-312
- [16] G.Andrson, M.Baretsky, Jr and D.D.McCarthy, 'Corona-Loss Characteristics of EHV Transmission Lines Based on Project EHV Research, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-85, No.12, pp.1196-1212
- [17] J. J. Clade, C. H. Gary and C. A. Lefevre, '*Calculation of Corona Losses beyond the Critical Gradient in Alternating Voltage*', IEEE Trans. PAS., Vol. 88, pp. 695-703, 1969
- [18] M.Abdel-Salam, M.Farghally, S.Abdel-Sattar, D.Shamloul, '*Analysis of AC corona power loss for single phase transmission lines*', Int. Symposium on gaseous Dielectrics, Knoxville, pp. 492-497, 1984
- [19] M. Abdel-Salam and D. Shamloul, '*Corona Power Loss Calculation for Three-phase Transmission Lines*', Proceedings of the IEEE-IAS Annual Meeting, San Diego, California, USA, pp. 1411-1416, October, 1989
- [20] K.Yamazaki and R.G.Olsen, 'Application of a Corona Onset Criterion to Calculation of Corona Onset Voltage of Stranded Conductors', IEEE Trans. Dielectr. Elect. Insul., Vol. 11, pp.674-680, 2004
- [21] R.D.Begamunde, 'Extra High Voltage AC Transmission Engineering', New Age International (P) Limited Publisher, New Delhi, 2006
- [22] M.Mohammadi, R.Ebrahimi, '*Corona Losses Calculation in HVAC Transmission Lines Using FEM and Comparison with HVDC Corona Losses*', Australian Journal of basic and Applied Science, 5(5): 833-843, 2011
- [23] A.Čaršimamović, A.Mujezinović, Z.Bajramović, M.Košarac, '*Određivanje napona početka korone na višefaznim prijenosnim linijama*', XI Savjetovanje BH K CIGRE, 2013, Neum
- [24] L.N.Stone, 'EHV single and twin bundle conductors:influence of conductor diameter and strand diameter on radio influence voltage and corona initiation voltage', Trans. AIEE, Vol. 78, pt. IV, pp.1434-1443, 1959

- [25] N.G.Trinh and P.S.Maravuda, '*A Method of Predicting the Corona performance of Conductor Bundles based on cage Test results*', IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, pp.312-325, Jan.1977
- [26] V.L.Charier, D.E.Blair, M.D. Easley and R.T.Raczkowski, '*Corona performance of a compact 230 kV line*', IEEE Trans. on Power delivery, Vol. 10, pp.410-417, 1995
- [27] S. Carsimamovic, Z. Bajramović, P. Osmokrović, M. Veledar, S. Nuić, E. Aganović, M. Ljevak, '*Impact of Tower Dimensions onto Levels of ELF Electric and Magnetic Fields of 400 kV Overhead Lines*', Paper C4-105, 2008 CIGRE SESSION, Paris, France
- [28] X.Bian, L.Wang, J.M.K. MakAlpine, Z.Guan, J.Hui, Y.Chen, '*Pozitive Corona Inceprion Voltages and Corona Currents for Air at Various Šressure and Hunidities*', IEEE Trans. on Diel. And El. Insulation, Vol. 17, No.1, Feb. 2010
- [29] M. Abdel-Salam and N.L.Allen, '*Onset Voltage of Positive Glow Corona in Rod-Plane Gaps as Influenced by Temperature*', IEE Proc.Sci.Meas.. Technol., Vol. 152, pp.227-232, 2005
- [30] L.Yunpeng, Y.Shaohua, W.Qifa, L.Fangcheng, C.Weijang, C.Yong, '*UHV AC Corona Loss measurement and Analysis under Rain*', IEEE 9th Int. Conf. Of the Properties and Application of Dielectric Materials 2009, ICPADM, pp. 130-133, July 2009
- [31] A.S. Timascheff, '*Effective Dielectric Constant of the Atmosphere during Snowstorm and Its Influence upon Corona Loss*', IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 83, no.5, pp.492-495, may 1964
- [32] K.lahti, M.Lahtinen, K.Nousiainen, '*Transmission Line Corona Losses under Hoar-Frost Conditions*', IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, no.2, pp.928-933, April 1997
- [33] M.Bountlendy, N.L.Allen and Lightfoot, '*Positive DC Corona and Sparkover in Short and Long Rod-Plane Gaps under Variable Humidity Conditions*', IEE Proc.-A.Vol. 138, pp.31-36, 1991
- [34] P.A.Calva and F.C.Espino, '*Effect on the Humidity in the Ionic Mobility in Reduced Air-density*', IEEE Conf. Elec. Insul.Dielectr.Phenomena (CEIDP), pp.508-511, 1998
- [35] C.T.Phelps and R.F.Griffiths, '*Depence od Positive Corona Streamer Propagation on Air Pressure and Water Vapour Content*', J.Appl.Phys., Vol 47, pp.2929-2934, 1976
- [36] M.Minhua, Z.Yuming, G. Zhicheng, W.Liming, '*The Influence of Contaminations on HVDC Coinductor Corona Characteristics*', Annual Report Conference on El. Insul. And Diel. Phenomena (CEIDP 2007), pp.537-541, Oct. 2007
- [37] A.P.Fews, D.L.henshaw, R.J.Wilding and P.A.Keitch, '*Corona Loss from Power Lines and Increased Exposure to Pollutant Aerosols*', Int.J.Radiat.Biol., Vol. 75, no. 12, pp.1523-1531
- [38] C.Eroncel, S.Ilhan, A.Ozdemir, A.Kaypmaz, '*Corona Onset Voltage and Corona Power Losses in Indoor Corona Cage*', proc. On 14th Int. Middle East Power Conf. (MEPCON 10), paper ID286, Dec.2010, Egypt
- [39] P.Heroux, P.S.maravuda and N.G.Trinh, '*High-Voltage Transmission Lines: Reduction of Corona under Foul Weather*', IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-101, No. 9, pp.3009-3017, Sept. 1982
- [40] M.Abel-Salam, '*Calculation the Effect of High temperature on the Onset Voltage of Negative Discharges*', J.Phys..D.:Appl. Phys., Vol 9, pp.149-154, 1976
- [41] Chartier V.L., '*Effect of Load Current on Conductor Corona*', CIGRE SC 36 Committe Report, 1993

4. METODE I RESURSI (SOFTVER I HARDVER) KOJI ĆE SE KORISTITI TOKOM PROVOĐENJA PREDLOŽENIH ISTRAŽIVANJA

Tokom istraživanja u okviru teme doktorske disertacije provest će se obimna eksperimentalna istraživanja na postojećim 400 kV dalekovodima u Bosni i Hercegovini. Mjerenja vrijednosti električnih polja u neposrednoj blizini visokonaponskih dalekovoda će se provesti na različitim visinama iznad tla i na različitim udaljenostima od dalekovoda, pri različitim temperaturama, pritiscima i vlažnostima tokom dana i različitim godišnjim dobima. Izvršit će se mjerenja na različitim nadmorskim visinama tokom promjene dnevnih opterećenja i naponskih stanja. Istraživanja će se provesti na vodovima standardnih dimenzija stubova, kao i na vodu smanjenih dimenzija (kompaktirani dalekovod).

Vrijednosti električnih polja mjerit će se na mjestima na kojima su visine vodiča najniže (provjes vodiča), kao i uz stubove dalekovoda gdje su visine vodiča iznad zemlje najveće.

Metodologija mjerenja i proračunavanja vrijednosti električnih polja će podrazumijevati:

- Izbor karakterističnih elektronergetskih objekata na kojima će se vršiti mjerenja,
- Provođenje mjerenja vrijednosti električnih polja na odabranima lokacijama, pohranjivanje i grafičko prezentiranje rezultata,
- Analiza odgovarajućih propisa i standarda iz ove oblasti,
- Izrada modela za proračun električnih polja ispod dalekovoda i poređenje sa dobijenim eksperimentalnim mjerenjima u cilju verifikacije predloženog modela,
- Provjera odabranog modela će se provesti proračunom električnog polja/napona početka korone na aranžmanu cilindričnih elektroda sa uniformnom raspodjelom polja (korona kavez),
- Koristeći uspostavljene modele, provest će se proračun električnog polja/napona početka korone na površini vodiča uzimajući u obzir različite faktore koji na njega utječu,
- Ocjena dobivenih rezultata sa prijedlozima u cilju smanjenja trajanja i nivoa povišenih napona u prijenosnoj mreži,
- Definiranje pristupa za proračun gubitaka korone uzimajući u obzir vrijednosti napona sistema i napona početka korone,
- Na kraju bi se izvršio kritički osvrt na vrijednosti napona početka korone i gubitaka usljed efekta korone na visokonaponskim dalekovodima.

Tokom mjerenja vrijednosti električnih polja, bit će korištena slijedeća raspoloživa oprema:

- mjerno-registrirajuća oprema koja omogućuje mjerenje i registraciju električnih polja (ELF instrument za mjerenje elektromagnetskog polja, tip HI-3604, proizvođač: ETS-LINDGREN HOLADAY EMF MEASUREMENT),
- kroz međulaboratorijsku suradnju sa Dalekovod Zagreb, za pojedine objekte će biti korišten 3D uređaj za mjerenje električnih polja, tip EFA-300, proizvođač NARDA,
- Humidity/Barometer with Temperature Digital Instrument, tipa PHB/318,
- Height Meter, SUPARULE, Model 600,
- suvremeni softverski paket za proračun električnih polja, kao što su MATLAB ili COMSOL-Multiphysic.

Računarski proračuni gradijenta napona na površini vodiča, kao i u neposrednoj blizini vodiča bit će provedeni na osnovu usvojenog modela verifikiranog na bazi prethodnih istraživanja, uzimajući u obzir sve elemente koji utječu na njegovu vrijednost:

- električne efekte,
- atmosferske efekte,

-geometriju dalekovoda (efekte aranžmana linija/vodiča).

Usvojeni matematski model za proračun električnih polja/napona na površini vodiča bit će zasnovan na jednoj od numeričkih metoda kao što su metoda simulacija naboja (CSM), metoda konačnih elemenata (FEM) ili nekoj drugoj pogodnoj numeričkoj metodi ili kombinaciji (numeričkih) metoda. Usvojeni model bi trebao biti implementiran na nekom od dostupnih softverskih paketa, kao što su MATLAB ili COMSOL-Multiphysic.

5. OČEKIVANI IZVORNI ZNANSTVENI DOPRINOS DISERTACIJE

Provedena istraživanja će dati odgovor o vrijednosti električnih polja ispod dalekovoda, na površini i neposrednoj blizini površine vodiča, kao i njihov utjecaj na formiranje gubitaka usljed efekta korone u određenim lokacijama 400 kV dalekovoda u Bosni i Hercegovini. Sveobuhvatna istraživanja će dati odgovore o utjecaju pojedinih električnih i geometrijskih parametara dalekovoda i atmosferskih faktora na vrijednosti električnih polja/napona početka korone i nivo gubitaka usljed korone. Ovakav pristup će omogućiti projektantima potrebne eventualne korekcije tokom projektiranja i izgradnje objekata, odnosno, optimizaciju tehničkih rješenja u odnosu na međunarodne standarde i propise koji tretiraju granične dozvoljene vrijednosti električnih i magnetskih polja.

Doprinos predložene teme doktorske disertacije sastoji se u slijedećem:

- Razrada metoda i provedba mjerenja vrijednosti električnih polja ispod 400 kV dalekovoda u Bosni i Hercegovini na različitim lokacijama i vremenskim uvjetima u cilju njihove detaljne analize i usporedbe sa međunarodnim standardima, preporukama i uputama,
- Izrada modela za proračun električnih polja ispod dalekovoda i poređenje sa dobivenim eksperimentalnim mjerenjima u cilju verifikacije predloženog modela,
- Provjera odabranog modela proračunom električnog polja/napona početka korone na aranžmanu cilindričnih elektroda sa uniformnom raspodjelom polja (korona kavez),
- Koristeći uspostavljene modele, provest će se proračun napona početka korone na površini vodiča uzimajući u obzir različite faktore koji na njega utječu,
- Definiranje pristupa za proračun gubitaka korone uzimajući u obzir vrijednosti napona sistema i napona početka korone,
- Kombinacija eksperimentalnih istraživanja sa računarskom simulacijom u cilju projektiranja dalekovoda boljih karakteristika, kao i ocjena mogućnosti kompaktiranja visokonaponskih dalekovoda sa aspekta jakosti električnih polja/napona početka korone, odnosno gubitaka korone.

6. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA U BOSNI I HERCEGOVINI I ISTRAŽIVANJA KANDIDATA U OBLASTI KOJOJ TEMA PRIPADA

Na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu je tokom zadnjih petnaest godina, kroz diplomske i magistarske radove, te računarska i eksperimentalna istraživanja stečeno veliko iskustvo u analizama elektromagnetskih polja ispod dalekovoda, te u visokonaponskim postrojenjima. Istraživani su nivoi elektromagnetskih polja i njihov utjecaj na ljudski organizam putem proračuna provedenih uz korištenje razvijenog vlastitog računarskog programa, kao i korištenjem komercijalnih računarskih programa. Provedena su mjerenja električnih i magnetskih polja ispod nekih 400, 220 i 110 kV dalekovoda u okviru Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu, kao i međulaboratorijske suradnje sa DALEKOVOD-om Zagreb. Rezultati dobiveni u dosadašnjim istraživanjima su uspješno prezentirani na domaćim i međunarodnim konferencijama. Do sada su od strane istraživača na Elektrotehničkom fakultetu, vanjskih suradnika i **kandidata**, objavljeni slijedeći radovi iz oblasti kojoj tema pripada:

- [1] S.Čaršimamović, Z.Bajramović, M.Bičakčić, E.Dedović, 'Proračun električnih polja VN dalekovoda', III Savjetovanje BH K CIGRE, 1997, Cazin.
- [2] S.Čaršimamović, Z.Bajramović, E.Dedović, E.Rahmanović, 'Neki aspekti utjecaja kompaktizacije 400 kV dalekovoda', IV Savjetovanje BH K CIGRE, 1999, Neum.
- [3] S.Čaršimamović, E.Dedović, 'Elektromagnetska polja visokonaponskih dalekovoda i njihov utjecaj na čovjeka', V Savjetovanje BH K CIGRE, 2001, Neum.
- [4] E.Dedović, 'Doprinos proračunu električnih i magnetskih polja visokonaponskih elemenata elektroenergetskog sistema', Magistarski rad odbranjen u novembru 2002. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu.
- [5] E.Dedović, S.Čaršimamović, 'Proračuni elektromagnetskih polja u visokonaponskim postrojenjima', VI Savjetovanje BH K CIGRE, 2003, Neum.
- [6] E.Dedović, S.Čaršimamović, 'Utjecaj elektromagnetskog zračenja na ljudski organizam i postojeće zaštitne mjere', VII Savjetovanje BH K CIGRE, 2005, Neum.
- [7] S.Čaršimamović, A.Muharemović, Z.Bajramović, E.Aganović, M.Veledar, M.Ljevak, 'Mjerenje i proračun električnih i magnetskih polja ekstremno niskih frekvencija', VIII Savjetovanje BH K CIGRE, 2007, Neum.
- [8] S. Carsimamovic, Z. Bajramović, P. Osmokrović, M. Veledar, S. Nuić, E. Aganović, M. Ljevak, 'Impact of Tower Dimensions onto Levels of ELF Electric and Magnetic Fields of 400 kV Overhead Lines', Paper C4-105, 2008 CIGRE SESSION, Paris, France.
- [9] S. Carsimamovic, 'Current ELF EMF Exposure Legislation & Practice in the SEE Region', Paper 45, International Colloquium - Power Frequency Electromagnetic Fields ELF EMF, June 03-04, 2009, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- [10] S. Čarsimamović, Z. Bajramović, P. Osmokrović, M. Veledar, S. Nuić, E. Aganović, M. Ljevak, 'Istraživanje ELF električnih i magnetskih polja 400 kV i 220 kV zračnih linija u Bosni i Hercegovini', IX Savjetovanje BH K CIGRE, 2009, Neum.
- [11] S.Nuić, M.Veledar, E.Aganovic, Z.Bajramovic, S.Carsimamovic, M.Ljevak, 'Electromagnetic Fields and Safety Distances in the Environment of 400 kV Overhead Lines', 2nd International Conference on EMF-ELF, 24-25 March 2011, Paris, France
- [12] S. Čaršimamović, M.Raščić, Z. Bajramović, **A. Čaršimamović**, 'Elektromagnetska kompatibilnost u elektroenergetskom sistemu', Knjiga ETF Sarajevo 2010.
- [13] **A.Čaršimamović**, 'Karakterizacija i mjerenje električnog i magnetskog polja ekstra niske frekvencije', Magistarski rad odbranjen dana 25.05.2011. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu.
- [14] S.Carsimamovic, Z.Bajramovic, M.Rascic, M.Veledar, E.Aganovic, **A.Carsimamovic**, 'Experimental Results of ELF Electric and Magnetic Fields of Electric Power System in Bosnia and Herzegovina', EUROCON 2011, IEEE International Conference on 'Computer as a Tool', ID 286, April 27-29, 2011, Lisbon, Portugal
- [15] Z.Bajramović, M.Veledar, S.Hadžić, S.Čaršimamović, **A.Čaršimamović**, 'Temporary Power Frequency Overvoltage in 220 kV and 400 kV Transmission network', CIGRE C4 Colloquium on Power Quality and Lightning, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, May 2012
- [16] Bajramović, Z., Turković, I., Mujezinović, A., **Čaršimamović, A.**, Muharemović, A. "Measures to reduces electromagnetic interferences on substation secondary circuit" 54th International Symposium ELMAR-2012, 12-14 September, Zadar, Croatia, IEEE Conference Publications.
- [17] **A.Čaršimamović**, Z.Bajramović, I.Turković, 'Mjerenje električnih polja ekstra niskih frekvencija i međunarodni sigurnosni standardi', XI Savjetovanje BH K CIGRE, 2013, Neum
- [18] **A.Čaršimamović**, A.Mujezinović, Z.Bajramović, M.Košarac, 'Određivanje napona početka korone na višefaznim prijenosnim linijama', XI Savjetovanje BH K CIGRE, 2013, Neum

[19] A.Mujezinović, **A.Čaršimamović**, I.Turković, *'Proračun električnog polja oko zračnih prijenosnih linija primjenom metode konačnih elemenata'* , XI Savjetovanje BH K CIGRE, 2013, Neum