

MERENJE ELEKTRIČNOG I MAGNETSKOG POLJA U OKOLINI 400KV DALEKOVODA

Miodrag Milutinov, Anamarija Juhas, Dejana Herceg
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Sadržaj: Za ispitivanje uticaja električnog i magnetskog polja na životno okruženje i električne uređaje postoji veliki interes javnosti. U radu su prikazani rezultati merenja električnog i magnetskog polja u blizini 400kV dalekovoda. Teorijski proračuni električnog polja zasnovani na analitičkoj metodi pokazuju dobro slaganje sa izmerenim vrednostima. Magnetsko polje zavisi od opterećenja voda, koje se menja tokom dana i sezonski.

Ključne reči: dalekovodi, električno polje, magnetsko polje, merenja

1. UVOD

U čovekovoj okolini postoje elektromagnetska polja koje stvaraju veštački izvori: dalekovodi, trafostanice, kućni aparati i drugi izvori. Poznavanje električnog i magnetskog polja je od velikog značaja, imajući u vidu moguće negativne posledice na zdravlje ljudi [1]. U poslednjih nekoliko godina tom problemu se posvećuje sve veća pažnja.

U ovom radu je analizirano električno i magnetsko polje ekstremno niskih učestanosti koje stvara nadzemni dalekovod. Primenom odgovarajućih modela i metoda moguće je proračunati zavisnost intenziteta električnog i magnetskog polja od udaljenosti od dalekovoda, visine provodnika i drugih parametara [2], [3].

Primarni faktor od koga zavisi električno polje u okolini dalekovoda je napon faznih provodnika. Efektivne vrednosti napona su približno konstantne tokom vremena.

Primarni faktor od koga zavisi magnetsko polje je intenzitet struje faznih provodnika. Efektivne vrednosti jačine struja u provodnicima zavise od opterećenja i variraju u toku dana i sezonski. Kako magnetsko polje zavisi od jačine struja u provodnicima, njegov intenzitet u okolini dalekovoda varira u toku dana, a samim tim i u toku merenja.

Pored toga, oba polja zavise od visina provodnika u odnosu na zemlju, koje se menjaju u toku godine zbog promene temperature vazduha. Niži provodnici stvaraju veće električno i magnetsko polje.

Poznato je da električno i magnetsko polje naglo slabi udaljavanjem od dalekovoda. Sa aspekta izloženosti ljudi električnom i magnetskom polju najkritičnije tačke su ispod i u neposrednoj blizini dalekovoda.

Međunarodna organizacija za zaštitu od nejonizujućih zračenja ICNIRP je odredila referentne vrednosti električnog i magnetskog polja u zavisnosti od frekvencije [4]. Maksimalne dozvoljene vrednosti električnog i magnetskog polja za stanovništvo i profesionalce na frekvenciji 50Hz, prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1. Maksimalne dozvoljene vrednosti električnog i magnetskog polja za stanovništvo i profesionalce na frekvenciji 50Hz.

Preporuke ICNIRP 98	E [kV/m]	B [μ T]
stanovništvo	5	100
profesionalci	10	500

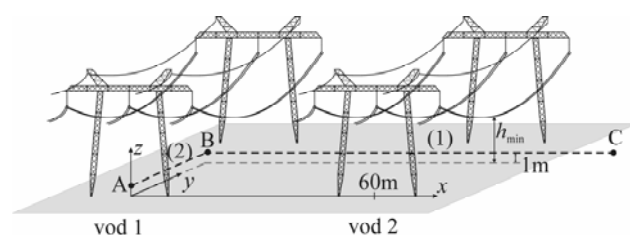
U ovom radu su prikazani rezultati merenja električnog i magnetskog polja u okolini 400kV dalekovoda. Merenja su izvršena u skladu sa IEEE standardom [5]. Izmerene vrednosti su upoređene sa vrednostima dobijenim teorijskim proračunima, koje su autori koristili u radu [6]. Matematički model za proračun električnog i magnetskog polja uzima u obzir uticaj zemlje. Prilikom proračuna električnog polja zemlja je modelovana kao savršeni provodnik, dok je prilikom proračuna magnetskog polja uzeta u obzir konačna specifična provodnost zemlje.

2. OPIS LOKACIJE

Merenje električnog i magnetskog polja izvršeno je u neposrednoj okolini prenosnog sistema Novi Sad 3 - Obrenovac koji se sastoji od dva 400kV (DV 406/1 i DV 450) dalekovoda, na delu trase koja se nalazi na ulazu u visokonaponsku trafostanicu "Rimski Šančevi". 400kV dalekovodi su postavljeni paralelno na rastojanju od 60m.

U skladu sa standardom [5], merenje električnog i magnetskog polja izvršeno je na visini od 1m iznad zemlje, duž pravca normalnog na pravac trase (putanja 1), i duž pravca trase ispod srednjeg provodnika (putanja 2), kao što je prikazano na slici 1.

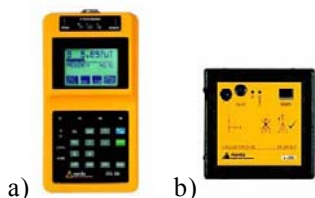
Prva merenja su izvršena 15. maja 2009. godine u periodu od 7 do 12 časova. Druga merenja su izvršena 26. maja 2009. godine u periodu od 8 do 11 časova. Za vreme prvih merenja oba voda su bila uključena, dok je za vreme drugih merenja vod 2 bio isključen (slika 1).



Slika 1. Prikaz trase dva dalekovoda sa putanjama za merenje električnog i magnetskog polja.

3. MERENJE ELEKTRIČNOG I MAGNETSKOG POLJA

Merenje električnog i magnetskog polja izvršeno je instrumentom visoke klase tačnosti "EFA-300", proizvođača NARDA - Safeti Test Solution [7]. Slika 2 prikazuje merni sistem EFA-300, koji se sastoji od osnovne jedinice sa internom sondom za merenje vektora magnetske indukcije i spoljne sonde za merenje vektora jačine električnog polja.



Slika 2. Merni sistem EFA-300: a) osnovna jedinica, b) sonda za merenje električnog polja

EFA-300 omogućava izotropno merenje i merenje svake od prostornih komponenti polja posebno. Merni opseg instrumenta je od 1nT do 32mT za vektor magnetske indukcije i od 1V/m do 100kV/m za električno polje. Za merenje vektora magnetske indukcije je korišćena interna sonda, čija greška pri merenju vektora magnetske indukcije većeg od 1 μ T iznosi $\pm 5\%$. Za merenje vektora jačine električnog polja je korišćena spoljna sonda, čija greška pri merenju vektora jačine električnog polja većeg od 5V/m iznosi $\pm 3\%$. Po preporuci standarda [5], ukupna greška merenja treba da bude manja od 10%. Rastojanje između sonde za merenje električnog polja i operatera mora biti najmanje 2.5m (slika 3). Ovim rastojanjem se skoro u potpunosti eliminiše uticaj efekta blizine na tačnost merenja električnog polja. U zavisnosti od režima rada instrument može da meri efektivne vrednosti polja, vršne vrednosti ili spektar u opsegu od 5Hz do 32kHz.



Slika 3. Merni sistem EFA-300 za merenje električnog polja u okolini dalekovoda na Rimskim Šančevima.

Ispod i u neposrednoj blizini dalekovoda na visini od 1m iznad zemlje izvedena su merenja:

- spektra električnog i magnetskog polja u tački B (slika 1),
- intenziteta vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije u poprečnom (lateralnom) preseku dalekovoda i

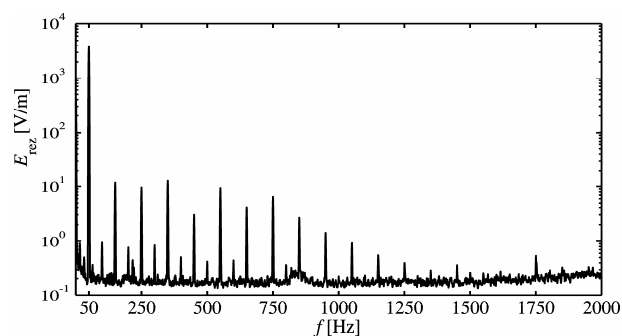
- intenziteta vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije u uzdužnom (longitudinalnom) preseku dalekovoda.

Na osnovu rezultata merenja u delu 3.4 diskutovane su polarizacije električnog i magnetskog polja.

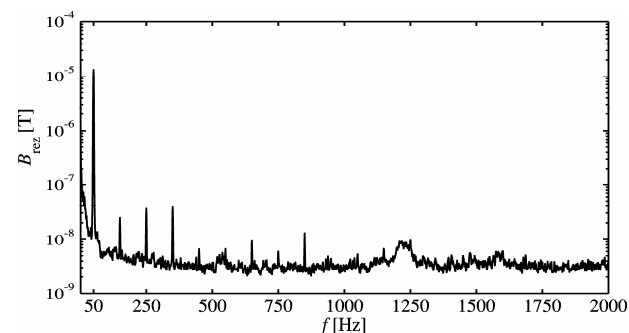
3.1. Spektar električnog i magnetskog polja

Najveće vrednosti intenziteta električnog i magnetskog polja, koje stvara dalekovod, nalaze se u prostoru gde su provodnici najniži, u takozvanoj zoni sa najvišim nivoima polja. S obzirom na konfiguraciju terena na kome je izvršeno merenje, ta zona se nalazi ispod provodnika, na sredini rastojanja između stubova dalekovoda (tačka B).

Rezultati merenja spektra vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije, u mernoj tački B prikazani su na slikama 4 i 5. Uočeno je da učestanosti dominantnih komponenti vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije iznose 50Hz.



Slika 4. Spektar vektora jačine električnog polja u tački B.



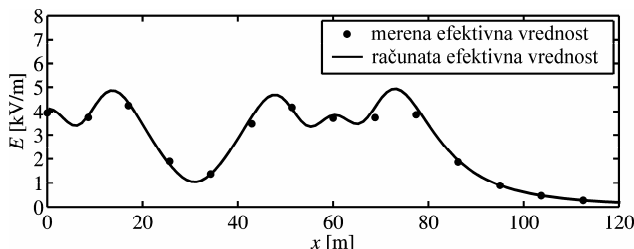
Slika 5. Spektar vektora magnetske indukcije u tački B.

3.2. Merenja u poprečnom preseku dalekovoda

U poprečnom preseku koji je normalan na pravac dalekovoda, izmereno je električno i magnetsko polje u tačkama od interesa sa izabranim korakom na visini od 1m iznad nivoa zemlje. Zbog simetrije sistema, merenja su izvedena u jednoj polovini poprečnog preseka. Merenje je započeto ispod centralnog provodnika voda 1 (tačka B), u zoni sa najvišim nivoima polja, i nastavljeno je u pravcu spoljašnjeg provodnika. Poslednja merna tačka udaljena je 50m od spoljašnjeg provodnika voda 2 (tačka C). Ova putanja merenja označena je kao putanja 1.

Merenja električnog polja su izvršena u 14 ekvidistantnih tačaka. Rastojanje između mernih tačaka iznosilo je 9m. Merenja magnetskog polja su izvršena u 60 ekvidistantnih tačaka. Rastojanje između mernih tačaka iznosilo je 2m.

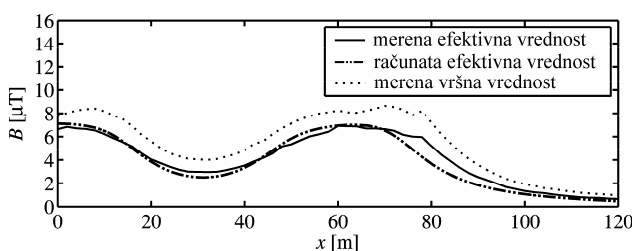
Slika 6 prikazuje rezultate merenja efektivne vrednosti vektora jačine električnog polja duž putanje 1. Najveća vrednost električnog polja izmerena je neposredno ispod faznih provodnika. Radi poređenja, na slici 6 su prikazani i rezultati proračuna dobijeni primenom modela [6]. Dobro slaganje izmerenih i proračunatih vrednosti električnog polja, potvrđuje ispravnost modela.



Slika 6. Rezultati merenja i proračuna vektora jačine električnog polja u poprečnoj ravni, duž putanje 1.

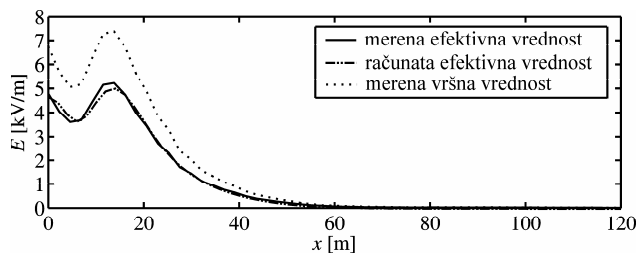
Intenzitet magnetskog polja ne zavisi samo od visina provodnika dalekovoda, već i od rasporeda provodnika na stubu, kao i od intenziteta struja, odnosno opterećenja dalekovoda. Uključivanje većeg broja potrošača, posebno potrošača veće snage, uzrokuje veće intenzitete struje u provodnicima dalekovoda. Veće jačine struje kroz provodnike voda stvaraju jače magnetsko polje. U toku dana te promene mogu biti značajne, što može izazvati značajne fluktuacije magnetskog polja ispod dalekovoda i u njegovoj neposrednoj blizini.

Slika 7 prikazuje rezultate merenja efektivne i vršne vrednosti vektora magnetske indukcije duž putanje 1 i rezultate proračuna dobijenih primenom modela [6]. Najveća vrednost vektora magnetske indukcije izmerena je neposredno ispod faznih provodnika. Razlika između izmerenih i proračunatih vrednosti je posledica promene jačine struje u provodnicima dalekovoda u toku merenja. Stvarni intenziteti struja u dalekovodima za vreme merenja nisu bili poznati. Prilikom proračuna vektora magnetske indukcije korišćena je jačina struje od 400A u oba dalekovoda.



Slika 7. Rezultati merenja i proračuna magnetske indukcije u poprečnoj ravni, duž putanje 1.

Slika 8 prikazuje rezultate merenja efektivne i vršne vrednosti vektora jačine električnog polja duž putanje 1, izvršenog 26. maja 2009. godine. Za vreme merenja vod 2, prikazan na slici 1, je bio isključen. Poređenjem rezultata prikazanih na slikama 6 i 8 potvrđeno je da prisustvo drugog dalekovoda ne menja značajno električno polje ispod prvog dalekovoda. Pri tome rastojanje između centralnih provodnika dalekovoda ne bi trebalo da bude manje od 60m. Rezultati merenja pokazuju dobro slaganje sa teorijskim proračunom korišćenim u [6].



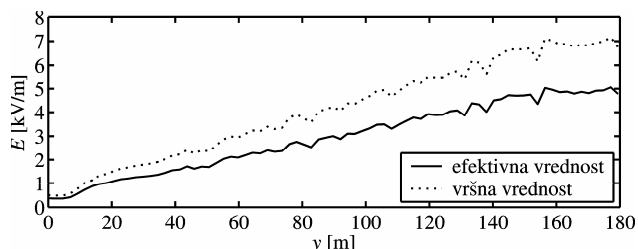
Slika 8. Rezultati merenja i proračuna vektora jačine električnog polja u poprečnoj ravni, duž putanje 1, u slučaju kada je vod 2 isključen.

3.3. Merenja u uzdužnom preseku dalekovoda

Uzdužni pravac određen je pravcem trase dalekovoda i nalazi se na visini od 1m iznad nivoa zemlje. U ravni uzdužnog preseka dalekovoda, električno i magnetsko polje je izmereno ispod centralnog provodnika voda 1, i to počevši od stuba (tačka A) do sredine rastojanja između stubova dalekovoda (tačka B). Ova putanja merenja označena je kao putanja 2. Merenja duž uzdužnog pravca je izvršeno u 90 tačaka. Rastojanje između mernih tačaka iznosilo je 2m.

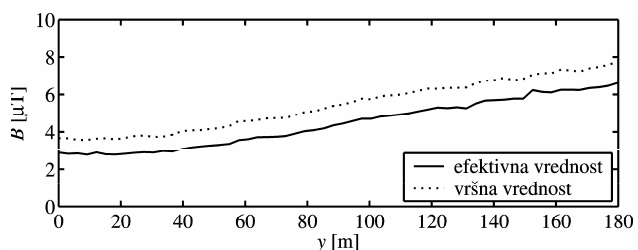
Intenziteti vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije zavise od visina provodnika, koje se menjaju duž trase.

Slika 9 prikazuje rezultate merenja efektivne i vršne vrednosti vektora jačine električnog polja duž putanje 2. Udaljavanjem od stuba visina provodnika se smanjuje što za posledicu ima povećanje intenziteta vektora jačine električnog polja. Oscilacije u intenzitetu električnog polja duž trase su posledica prisustva biljne kulture na terenu neposredno ispod dalekovoda.



Slika 9. Rezultati merenja vektora jačine električnog polja duž putanje 2.

Slika 10 prikazuje rezultate merenja efektivne i vršne vrednosti vektora jačine električnog polja duž putanje 2. Kao i u slučaju električnog polja, udaljavanjem od stuba i približavanjem tački B povećava se intenzitet vektora magnetske indukcije.



Slika 10. Rezultati merenja vektora magnetske indukcije duž putanje 2.

U toku dana promene intenziteta struja dalekovoda mogu biti značajne, što može izazvati promene intenziteta vektora magnetske indukcije ispod

dalekovoda i u njegovoj neposrednoj blizini. Izmerene vrednosti vektora magnetske indukcije odgovaraju opterećenju dalekovoda u trenutku merenja.

Međufazni naponi dalekovoda su približno konstantni, tako da i intenzitet električnog polja ostaje približno konstantan u dužem vremenskom periodu. Usled sezonskih promena temperature, menjaju se visine provodnika, a samim tim i intenzitet električnog polja.

3.4. Polarizacija električnog i magnetskog polja

Električno i magnetsko polje u okolini nadzemnih vodova, prouzrokovano vremenski promenljivim električnim strujama trofaznog sistema, je u opštem slučaju eliptički polarizovano. Veza između efektivne, E_{rms} , i vršne, E_{peak} , vrednosti polja zavisi od polarizacije:

- $E_{peak} = \sqrt{2} E_{rms}$ za linijske polarizovane vektore,
- $E_{peak} = E_{rms}$ za kružno polarizovane vektore i
- $E_{rms} < E_{peak} < \sqrt{2} E_{rms}$ za eliptički polarizovane vektore.

Poređenjem efektivne i vršne vrednosti vektora jačine električnog polja utvrđeno je da je polarizacija vektora jačine električnog polja na visini od 1m iznad zemlje linijska.

Poređenjem efektivne i vršne vrednosti vektora magnetske indukcije utvrđeno je da polarizacija vektora magnetske indukcije na visini od 1m iznad zemlje ne može da se smatra linijskom u prostoru ispod dalekovoda. Na udaljenosti od 30m od spoljnih provodnika dalekovoda polarizacija vektora magnetske indukcije može se smatrati linijskom.

4. ZAKLJUČAK

Merenje električnog i magnetskog polja izvršeno je u neposrednoj okolini dva 400kV dalekovoda.

Rezultati merenja intenziteta vektora jačine električnog polja u poprečnom preseku pokazuju dobro slaganje sa teorijskim proračunom. Neposredno ispod faznih provodnika, na mestu gde su oni najniži, izmeren je intenzitet električnog polja od 5kV/m. To je maksimalna dozvoljena vrednost za stanovništvo po preporuci [4]. Udaljavanjem od dalekovoda električno polje naglo opada. Na udaljenosti većoj od 50m od spoljnih provodnika dalekovoda intenzitet vektora jačine električnog polja je manji od 100V/m, što je oko 50 puta manja vrednost od maksimalno dozvoljene vrednosti.

Magnetsko polje zavisi od opterećenja voda, koje se menja tokom dana i sezonski. Najveća vrednost vektora magnetske indukcije od 14 μ T izmerena je neposredno ispod srednjeg provodnika na mestu gde su provodnici najniži. Ta vrednost je sedam puta manja od maksimalno dozvoljene vrednosti (100 μ T). Udaljavanjem od dalekovoda magnetsko polje naglo opada. Na udaljenosti većoj od 50m od spoljnih provodnika dalekovoda intenzitet vektora magnetske indukcije je manji od 1 μ T.

Poređenjem efektivne i vršne vrednosti vektora jačine električnog polja utvrđeno je da je polarizacija vektora jačine električnog polja na visini 1m iznad zemlje linijska.

ZAHVALNICA

Značajnu finansijsku pomoć za nabavku opreme korišćene u radu pružio je Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine Vojvodine.

Rad predstavlja deo istraživanja na Projektu "Proračun, vizuelizacija i monitoring elektromagnetskih polja", br. TP 18043, finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Srbije, 2008-2011.

5. REFERENCE

- [1] T. Penick, "Possible health effects of power line electric fields," for EE368 Electrical Power Transmission and Distribution, April 1999.
- [2] G. Mazzati, "The role played by current phase shift on magnetic field established by AC double-circuit overhead transmission lines – part I: static analysis," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.21, No.2, pp. 939-948, Apr 2006.
- [3] D. W. Deno, "Transmission line fields," IEEE Trans. Power App. System, Vol.95, pp. 1600-1611, Sep/Oct. 1976.
- [4] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz)," Health Physics, vol. 74, pp. 494-522, April 1998.
- [5] IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines, IEEE Std. 644-1994.
- [6] M. Milutinov, A. Juhas and M. Prša, "Electric and magnetic field in vicinity of overhead multi-line power system", Acta Electrotehnica, Proc. of the 2nd Intern. Conference on Modern Power Systems, Cluj-Napoca, Romania, 12-14 Nov. 2008, pp. 313-316.
- [7] Narda Safety Test Solutions, "EFA-200, EFA-300 Field Analyzers", <http://www.narda-sts.de>.

MEASUREMENT OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS IN VICINITY OF 400kV OVERHEAD TRANSMISSION LINE

Abstract: Research of impacts of electric and magnetic fields on humane environment and electrical devices is topic issue. This paper presents measurements of power frequency electric and magnetic fields in vicinity of overhead 400kV power line. Calculation of the electric field strength based on analytical approach is in good agreement with measurements. Magnetic field depends on power line load, which varies during the day and year.

Key words: power lines, electric field, magnetic field, measurement.