

Analiza rezultata merenja i rezultata simulacije električnog i magnetnog polja dalekovoda

Jovan T. Ničković, Radoje B. Jevtić

Sadržaj – U radu je predstavljena analiza rezultata dobijenih merenjem električnog i magnetnog polja u okolini dalekovoda i rezultata dobijenih na osnovu simulacije. Merenja su vršena pomoću instrumenta SPECTRAN NF 5020 SN 00610, dok je simulacija urađena na računaru u programu FEMM 4.0. U radu je, takođe data uporedna analiza ovih rezultata prikazana grafičkom metodom. Kao predmet merenja izabran je dolazni dalekovod od 110 kV. Na kraju je dat komentar nekih od standarda radi upoređivanja dobijenih rezultata sa standardima.

Ključne reči – električno i magnetno polje, dalekovod, standard merenje, simulacija.

I. UVOD

Ubrzani razvoj industrije i osvajanje novih tehnologija doveli su do uvećane potrebe za električnom energijom. Tako je ona postala neophodan faktor u životu i radu ljudi. Iz ovih razloga došlo je do ekspanzije u konstrukciji svih delova elektroenergetskih sistema, kao i njihovog međusobnog povezivanja. U prenosu električne energije brojčano su najzastupljeniji dalekovodi. Dalekovodi se postavljaju i u naseljenim mestima, u blizini kuća, škola, fabrika. Često se nalaze postavljeni i u samim dvotičtima ovih građevina. Dakle, može se zaključiti da su dalekovodi često u neposrednoj blizini živih bića. Zato je njihovo dejstvo na okolinu, pre svega jačinom električnog i magnetnog polja vrlo često predmet istraživanja. U Americi su, na primer na osnovu ovakvih istraživanja propisane udaljenosti postavljanja dalekovoda od škola u zavisnosti od tipa dalekovoda [1].

Dejstvo elektromagnetnog polja na ljude manifestuje se u vidu indukovanih električnih i magnetnih polja i posledično vrtložnih struja u organizmu. Jačinu električnog i magnetnog polja svih delova elektroenergetskog sistema, pa i dalekovoda je moguće izmeriti pomoću odgovarajućeg mernog instrumenta. Dobijeni rezultati se mogu uporediti sa vrednostima koje su propisane standardima ili sa vrednostima dobijenim pomoću simulacije. Standardi se definišu za dve grupe: neprofesionalnu izloženost i profesionalnu izloženost.

II. EKSPERIMENT

U istraživanju koje je sprovedeno korišćena je merna oprema firme AARONIA, proizvedena 2006. Oznaka instrumenta je NF 5020 SN 00610, 00118 I.br 052, 053 [2].

Jovan T. Ničković, ETŠ Nikola Tesla, Aleksandra Medvedeva 18, 18000 Niš; tel. +381-628028175; email: jovan@etstesla.ni.ac.rs

Radoje B. Jevtić, ETŠ Nikola Tesla, Aleksandra Medvedeva 18, 18000 Niš; tel. +381-637590193; email: milan.jvtc@gmail.com

Istraživanje je urađeno u Nišu tokom 2009. godine. Merni postupak je sproveden za dolazni dalekovod tipa jela od 110 kV na lokaciji ispred trafo-stanice Niš 10. Sva merenja vršena su u vreme maksimalne potrošnje, koja se u ovom periodu godine javlja između 13:00 i 14:00 časova.

Prirodni uslovi pri kojima su izvršena merenja efektivnih vrednosti električnog i magnetnog polja dati su u tabeli 1. U tabeli 2 prikazane su vrednosti za snage, struju i napon u vreme značajne potrošnje.

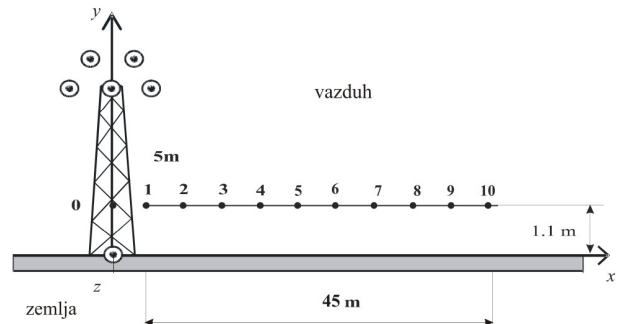
Tabela 1: Prirodni uslovi u kojima su vršena merenja

Datum merenja	05.03.2009
Vreme merenja	14:00 - 15:30
Temperatura	3 °C
Relativna vlažnost vazduha	70 %
Brzina vetra	5 m/ s

Tabela 2: Vrednosti za snage, struju i napon pri merenju električnog i magnetnog polja dalekovoda

TS Niš 10	Jedinica	Vrednost u 13:00	Vrednost u 13:30	Vrednost u 14:00
Aktivna snaga	MW	8.8	8.56	8.62
Reaktivna snaga	MVAr	4.25	4.18	4.21
Struja	A	51.15	50.28	50.39
Napon	kV	110.48	110.6	111.14

Tačke merenja za dalekovod uzimane su duž pravca normalnog na trasu dalekovoda sa korakom od 5 metara. Ukupna dužina merenja iznosila je 60 metara. Kao nulta (polazna) tačka uzeta je tačka koja se nalazi na sredini samog dalekovoda. Visina na kojoj je izvršeno merenje iznosila je 1.1 metar od nivoa zemlje. Položaj tačaka merenja, pravci i smerovi osa, kao i njihov položaj u prostoru su kao na slici 1.



Slika 1. Tačke u kojima su vršena merenja el. i mag. polja

III. METODOLOGIJA I REZULTATI MERENJA

Merene su efektivne vrednosti za jačinu električnog polja E i intenzitet magnetne indukcije B u tri dimenzije, po x , y i z osi posebno za svaku od tačaka merenja. Jačina magnetnog polja H u tačkama merenja je dobijena računski relacijom:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

Izabrano je frekventno područje od 50 Hz sa pragom tolerancije ± 5 Hz tj. opseg frekvencije pri merenju iznosio je od 45 do 55 Hz.

Intenziteti vektora jačine električnog polja i magnetne indukcije u svakoj tački se mogu dobiti i računski na osnovu sledećih relacija:

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2} \quad \text{i}$$

$$|B| = \sqrt{|B_x|^2 + |B_y|^2 + |B_z|^2}$$

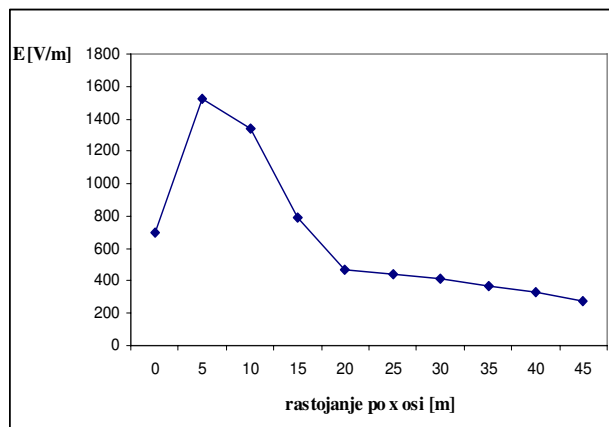
Na osnovu ovih izraza moguće je računskim putem uporediti eksperimentalno dobijene rezultate.

Rezultati merenja električnog i magnetnog polja dalekovoda dati su tabelarno. Tabelarni prikaz podrazumeva kolone za: redni broj tačke merenja, rastojanje od referentne tačke u metrima, jačinu električnog polja i intenzitet magnetne indukcije po x , y i z osi, kao i kolone za prikaz ukupnih rezultata merenja. Zbog velikog broja podataka pri merenjima u tabeli 3 prikazane su samo ukupne vrednosti električnog i magnetnog polja.

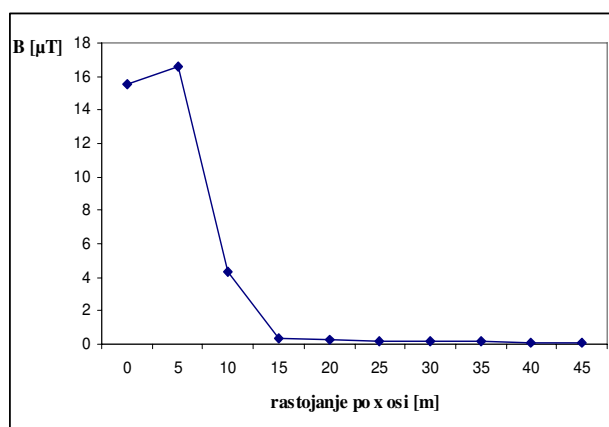
Tabela 3: Izmerene vrednosti za jačinu električnog polja, magnetnu indukciju i jačinu magnetnog polja dalekovoda

R.Br tačke merenja	Rastojanje [m]	Ukupno polje		
		E[V/m]	B[μ T]	H[A/m]
1	0	698.27	15.52	12.42
2	5	1524.5	16.59	13.27
3	10	1338.5	4.29	3.43
4	15	790.15	0.32	0.26
5	20	469.61	0.24	0.19
6	25	438.22	0.18	0.14
7	30	412.58	0.16	0.13
8	35	363.74	0.15	0.12
9	40	332.54	0.07	0.06
10	45	279.56	0.05	0.04

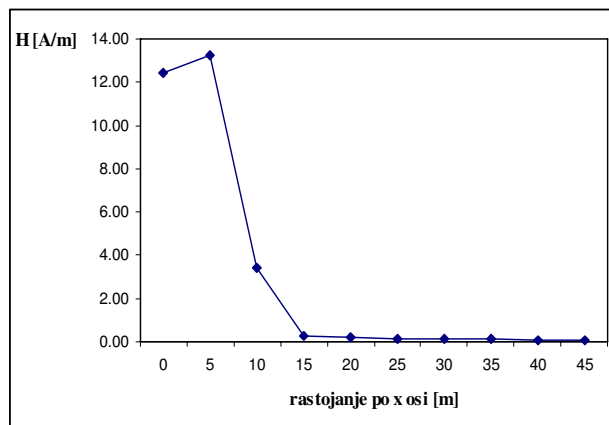
Dijagrami zavisnosti jačine električnog polja E , magnetne indukcije B i jačine magnetnog polja H od rastojanja po x osi u tačkama merenja za dalekovod od 110 kV prikazani su redom na slikama 2, 3 i 4.



Slika 2. Jačina električnog polja po x osi dalekovoda (pravac normalan na trasu dalekovoda) za $y=1.1$ m



Slika 3. Jačina magnetne indukcije po x osi dalekovoda (pravac normalan na trasu dalekovoda) za $y=1.1$ m



Slika 4. Jačina magnetnog polja po x osi dalekovoda (pravac normalan na trasu dalekovoda) za $y=1.1$ m

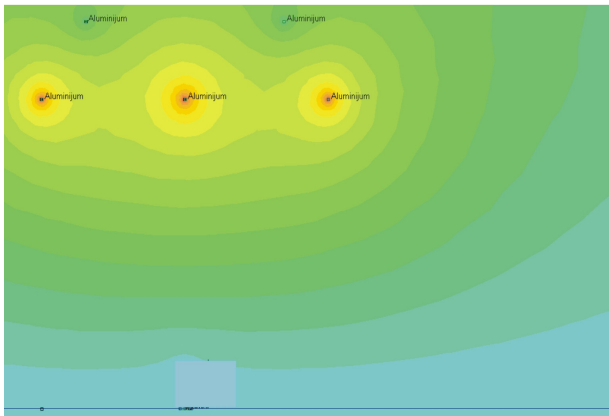
IV. SIMULACIJA

Pomoću programskih paketa koji koriste metod konačnih elemenata može da se simulaciono odredi raspodela električnog i magnetnog polja u životnoj sredini. Pri tome se koristi činjenica da je svaki materijal pa i ljudski organizam sredina koja je u elektromagnetnom smislu definisana specifičnom električnom provodnošću, relativnom

dielektričnom konstantom i relativnom magnetnom propustljivošću ($\sigma, \epsilon_r, \mu_r$).

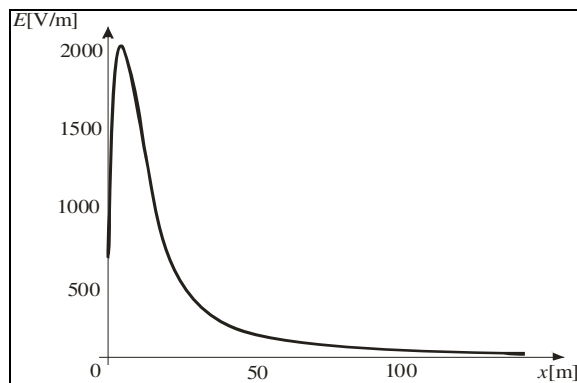
Simulacioni model dalekovoda od 110 kV urađen je u programu FEMM, verzije 4.0. U simulaciji je predstavljen dalekovod od 110 kV kao aluminijumski, sastavljen od pet provodnika. Definirane su sredine, zemlja i vazduh. U vazdušnoj sredini nalaze se aluminijumski provodnici. Takođe su određeni i granični uslovi između sredina [3].

Pošto se definišu svi željeni parametri tačaka, kontura i blokova u okviru simulacije za rešavanje elektrostatičkih problema, pristupa se procesorskoj analizi. Rezultat analize daje spektar elektromagnetnog polja dalekovoda. Prikaz spektra električnog polja dat je na slici 5.



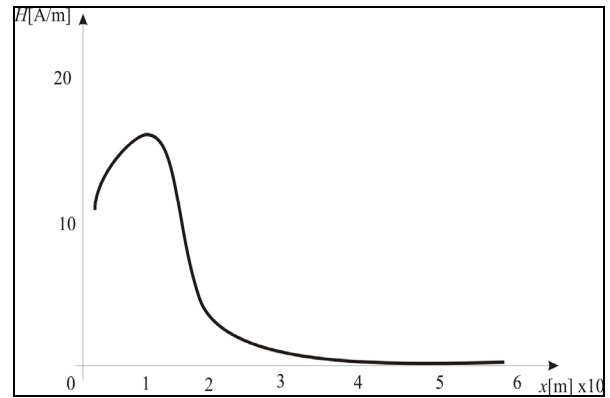
Slika 5. Spektar električnog polja dalekovoda od 110 kV

Dalja analiza je postprocesorska a podrazumeva definisanje jedne od tačaka ili linije ili bloka za analizu. U prikazanom slučaju se vršila analiza jačine električnog polja po liniji u pravcu x ose na visini $y=1.1$ m. Ukupna dužina merenja je iznosila 100 m. Rezultat simulacije prikazan je dijagramom na slici 6.



Slika 6. Jačina električnog polja po x osi dalekovoda

Postupak se ponavlja i kod rešavanja elektromagnetnog problema. To praktično znači da će u preprocesorskoj fazi biti precizno definisan problem, kao i sve tačke, segmenti i blokovi. U postprocesorskoj analizi se za proizvodljivo izabrani segment vrši analiza jačine magnetnog polja H . Zadana visina iznosila je $y=1.1$ m. Ukupna dužina merenja iznosila je 60 m. Rezultat simulacije prikazan je dijagramom na slici 7.

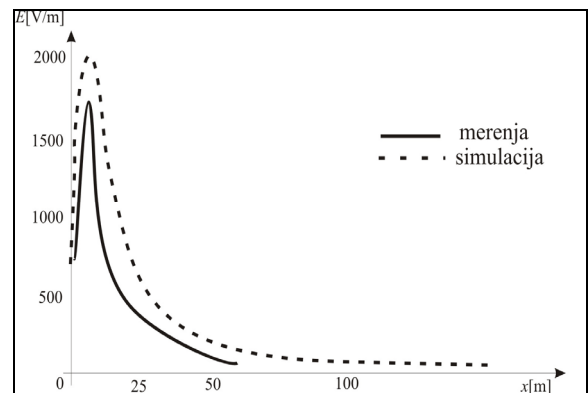


Slika 7. Jačina magnetnog polja po x osi dalekovoda

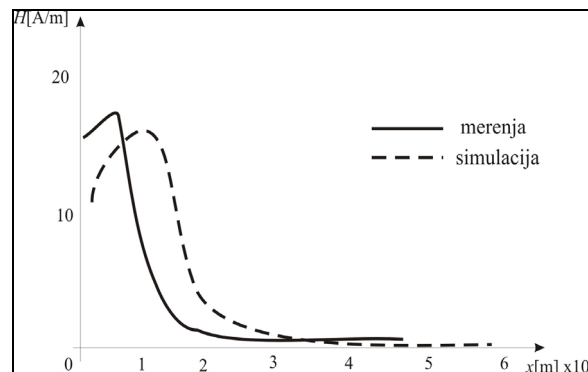
V. UPOREDNA ANALIZA REZULTATA

Uparedna analiza jačine električnog polja po x osi dalekovoda i jačine magnetnog polja po x osi dalekovoda (pravac normalan na trasu dalekovoda) za $y=1.1$ m izvršena je grafički. Analiza podrazumeva upoređivanje rezultata dobijenih izvršenim merenjima za dalekovod od 110 kV i rezultata dobijenih simulacijom sa teorijskim vrednostima [4,5].

Jačina električnog i magnetnog polja po pravcu na x osi dalekovoda od 110 kV prikazane su na slikama 8 i 9. Na dijagramima su uporedne krive dobijene merenjima i simulacijom.



Slika 8. Jačina električnog polja po x osi dalekovoda



Slika 9. Jačina magnetnog polja po x osi dalekovoda

Potpuno je očekivano da rezultati merenja u realnim uslovima delimično odstupaju od teorijskih vrednosti i

vrednosti dobijenih simulacijom. Odstupanje predstavlja posledicu uticaja uslova u kojima je izvršeno merenje i uticaja polja koje stvara čovek koji je vršio merenja. Preciznost instrumenta za merenje, uticaj polja koja nastaju od drugih izvora u okolini su takođe faktori koji utiču na odstupanja u vrednostima.

Rezultati dobijeni simulacijom u FEMM programu pokazali su nešto drugačije vrednosti za jačinu električnog polja. Uočava se da dolazi do odstupanja vrednosti dobijenih simulacijom u odnosu na izmerene vrednosti. Razlog za to jesu navedeni uslovi merenja, ali su razlike u vrednostima i posledica idealizacije parametara pri definisanju problema u simulaciji. Takođe, nemoguće je strogo definisati realne uslove merenja u simulaciji. U analizi je potrebno, takođe znati za nemogućnost savršenog podešavanja visine merenja y.

I pri uporednoj analizi rezultata dobijenih merenjima i simulacijom za magnetno polje dalekovoda može se zaključiti da dolazi do odstupanja. Ta odstupanja su nešto veća nego kod električnog polja. To je posledica složenijeg definisanja magnetnih svojstava u simulaciji.

Ipak, globalno posmatrajući rezultati dobijeni merenjima i simulacijom pokazuju visok stepen usaglašenosti.

Upoređivanjem vrednosti koje su dobijene za jačinu električnog polja sa propisanim standardima može se uočiti da se ove vrednosti mogu tumačiti na različite načine. Kada se govori o granicama kod neprofesionalne izloženosti (stanovništvo), švedski i američki standardi propisuju znatno niže dozvoljene vrednosti za električno polje od izmerenih vrednosti i vrednosti dobijenih simulacijom. Suprotno tome neki standardi dozvoljavaju više vrednosti od dobijenih, dok su u Hrvatskoj dobijene vrednosti približno na samoj granici propisanih. Za izloženost električnom i magnetnom polju industrijske učestanosti pojedine dobijene vrednosti su iznad nivoa propisanih domaćim Zakonom i Pravilnikom. Može se zaključiti da su ove vrednosti dosta strogo postavljene [6,7].

Slično se uočava i za profesionalnu izloženost magnetnom polju. Međutim, za neprofesionalnu izloženost magnetnom polju industrijske učestanosti sve dobijene vrednosti su znatno ispod nivoa propisanih, osim u slučaju švedskih i američkih standarda, a odskora i domaćih standarda.

Iz navedenog se može zaključiti da je zbog različitih propisanih vrednosti teško ustanoviti jedinstven standard o vrednostima električnog i magnetnog polja. Tome doprinose i različita zakonska rešenja kao i propisi u najrazvijenijim državama.

U cilju traganja za opšte prihvaćenim standardizovanim vrednostima polja neophodno je i na dalje razvijati odgovarajuće modele ljudskog tela, vršiti simulacije sa tim modelima u računaru i svakako upoređivati tako dobijene rezultate sa rezultatima dobijenim neposrednim merenjima. Analizom rezultata dobijenih na ovaj način postavljena je osnova za dalja istraživanja. U okviru takvih istraživanja neophodno je uključiti i stručnjake iz oblasti medicine, vršiti statističku i epidemiološku analizu dobijenih podataka i pratiti vrednosti propisane standardima.

Literatura

- [1] Sugarman, E.: *How to Protect Yourself from Electromagnetic Fields*, 2004.
- [2] AAronia AG, *Spectran manual*, 2005.
- [3] Petković, D. M., Krstić, D., Stanković, V. B.: *The effect of Electric field on humans in the immediate vicinity of 110 kv power lines*, Working and Living Environmental Protection Vol. 3, N^o 1, 2006, pp. 63- 72.
- [4] Ničković, T. J.: *Uporedna analiza eksperimentalnih rezultata i rezultata simulacije elektromagnetnog polja u okolini elektroenergetskih postrojenja*, II seminarski rad, Fakultet zaštite na radu, Niš, April 2008.
- [5] Ničković, T. J.: *Određivanje rezultantnog električnog i magnetnog polja industrijske učestanosti u životnoj sredini*, magistarska teza, Fakultet zaštite na radu, Niš, jul 2010.
- [6] Zakonom o zaštiti od nejonizujućeg zračenja (SGRS 36/2009 od 15.05.2009.).
- [7] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima (SGRS 104/2009, od 24.12.09.).

Abstract

This study has been written to show analysis of results witch get with measurement electric and magnetic fields near the highline and results of simulation. The measurement were done by instrument SPECTRAN NF 5020 SN 00610 and simulation was done in program FEMM 4.0. In this study, also was done the comparative analysis results of the measurements and results of the simulation electric and magnetic field of highline. The results are presented on graphic way. The subject of measurement was 110 kV highline. At last, it has been written comments of standards and their values y.

ANALYSIS OF RESULTS THE MEASUREMENTS AND SIMULATION RESULTS OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD OF HIGHLINE

Jovan T. Ničković, Radoje B. Jevtić