

TEHNIČKO REŠENJE

Primena Monte Karlo metode za procenu merne
nesigurnosti proračuna električnog i magnetskog
polja nadzemnih i podzemnih vodova

**M-85: Prototip, nova metoda, softver, standardizovan ili atestiran instrument, nova
genetska proba, mikroorganizmi**

Autori:

Anamarija Juhas, Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad,

Miodrag Milutinov, Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad.

Neda Pekarić-Nadž, Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad,

Kratak opis

Proračun nivoa električnog i magnetskog polja ima veliki značaj u predviđanju uticaja polja na ljude i elektronsku opremu, kao i kod analize uticaja promene parametara izvora na nivo polja. Rezultat proračuna je samo procena vrednosti posmatrane veličine, pa je rezultat potpun samo ako je praćen iskazom o nesigurnosti te procene.

Tehničke karakteristike:

Proračun električnog i magnetskog polja se vrši u ravni poprečnog preseka, normalnoj na pravac vodova. Proračun električnog polja u okolini nadzemnih vodova je u skladu sa metodom za proračun električnog polja opisanom u Standardu IEC 62110. Proračun magnetskog polja je baziran na dokumentu IEEE magnetic fields task force report: "Magnetic fields from electric power lines theory and comparison to measurements," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 3, pp. 2127–2136, Oct. 1988.

Određivanje merne nesigurnosti je bazirano na Monte Karlo metodi. U okviru procene merne nesigurnosti određuje se najkraći interval pokrivanja za verovatnoću pokrivanja od 95%.

Tehničke mogućnosti:

Konfiguracija vodova se zadaje u programu preko ulaznih veličina. To omogućava jednostavnu primenu softvera u zavisnosti od trenutnih potreba korisnika. Za zadate merne nesigurnosti ulaznih veličina, dobija se najkraći interval pokrivanja za verovatnoću pokrivanja od 95%.

Realizator:

Fakultet tehničkih nauka – FTN.

Korisnik:

Laboratorija za elektromagnetsku kompatibilnost, Katedra za Teorijsku elektrotehniku, Departman za Elektroniku, Energetiku u Telekomunikacije, Fakultet tehničkih nauka – FTN.

Podtip rešenja:

Softver -M85

Projekat u okviru koga je realizovano tehničko rešenje:

Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2011.-2014.

Tehnološka oblast: Elektronika, telekomunikacije i informacione tehnologije

Rukovodilac projekta: dr Ljiljana Živanov, redovni profesor

Naziv projekta: Inovativne elektronske komponente i sistemi bazirani na neorganskim i organskim tehnologijama ugrađeni u robe i proizvode široke potrošnje

Broj projekta: TR 32016

1. Opis problema koji se rešava tehničkim rešenjem

U savremenom svetu, kako ljudi tako i elektronska oprema su okruženi sistemima za prenos i distribuciju električne energije, koji generišu električno i magnetsko polje industrijske frekvencije. Predikcija nivoa električnog i magnetskog polja ima velik značaj u predviđanju uticaja koji ova polja mogu imati na žive organizme i elektronsku opremu, zatim u analizi uticaja promene parametara izvora na nivoe ovih polja, kao i u procesu projektovanja prenosnih i distributivnih vodova. Rezultati proračuna mogu se koristiti i kao priprema za merenje električnog i magnetskog polja u okolini ovih vodova.

Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi

Ispitivanje nivoa električnog i magnetskog polja, elektromagnetska kompatibilnost, unapređenje kvaliteta životne sredine.

Problem koji se tehničkim rešenjem rešava

Tehničko rešenje se koristi za određivanje električnog i magnetskog polja na otvorenom prostoru u okolini nadzemnih i podzemnih vodova za prenos i distribuciju električne energije. Osim programa za računanje polja, ovim tehničkim rešenjem obuhvaćeno je i sastavljanje skupa test-primeri za validaciju programa, kao i određivanje merne nesigurnosti rezultata, bazirano na Monte Karlo metodi.

2. Stanje rešenosti tog problema u svetu

Komercijalni programi, kao što su npr. COMSOL ili EFC-400LF, mogu da se koriste za proračune električnog i magnetskog polja u okolini nadzemnih i podzemnih vodova za prenos i distribuciju električne energije. Osim njih, postoje i publikacije koje se bave ovom problematikom, čiji su autori razvili sopstvene programe za proračun. Postojeći komercijalni programi su skupi, a privatni programi nedostupni. Osim toga, koliko je nama poznato, ne postoje test primeri za validaciju ovih proračuna, niti je određivana merna nesigurnost rezultata. Za potrebe akreditacije Laboratorije zahteva se i jedno i drugo.

Veliki broj globalnih i lokalnih parametara kao što su reljef, prisustvo objekata, dnevne i sezonske varijacije izvora i okoline, utiču na raspodelu električnog i magnetskog polja. Stoga je teško razviti univerzalni program za određivanje nivoa električnog i magnetskog polja koji će uzeti u obzir sve te uticaje. U ovom Tehničkom rešenju opisan je program koji je lako primenljiv i čiji rezultati, osim nivoa polja, uključuju takođe i procenu merne nesigurnosti.

Za određivanje merne nesigurnosti proračuna električnog i magnetskog polja, linearizovan model nije primenljiv jer ova polja opadaju sa porastom rastojanja kao $1/R$ ili $1/R^2$, a nekada i brže. Očigledno je da rastojanje u velikoj meri utiče na efektivne vrednosti polja, kao i to da se za tačke koje su blizu vodova (i u kojima su polja najjača) promena efektivne vrednosti polja u funkciji rastojanja ne može aproksimirati samo prvim članom razvoja u Tajlorov red. Zbog toga se merna nesigurnost ne može odrediti na način opisan u JCGM 100 [1] za linearan model. U slučaju kada model ne može dovoljno dobro da se aproksimira linearnim modelom, JCGM 100 predviđa i mogućnost da se uzme više članova razvoja u Tajlorov red, što podrazumeva da je izlazna veličina funkcija koja se može napisati u zatvorenoj formi. U slučaju funkcija koje zavise od više parametara, kao što je slučaj sa efektivnim vrednostima polja, nejasno je koliko članova razvoja u Tajlorov red treba uzeti.

Zbog navedenih ograničenja u određivanju merne nesigurnosti, za poboljšanje JCGM 100, predviđeno je nekoliko dodataka. Prvi od njih, dodatak JCGM 101 [2], opisuje alternativan način za računanje merne nesigurnosti primenom tzv. Monte Karlo metode. Ova metoda nije ograničena uslovima kao što je linearnost modela i uslovima primene centralne granične teoreme. Zbog prethodno iznetih argumenata, u ovom Tehničkom rešenju, za procenu merne nesigurnosti proračuna primenjena je Monte Karlo metoda.

3. Detaljan opis tehničkog rešenja (uključujući i prateće ilustracije i tehničke crteže)

Električno polje u okolini vodova može se odrediti ako su poznati naponi, geometrija trase i konfiguracija terena. Magnetsko polje u okolini vodova može da se izračuna ako su poznate struje provodnika i geometrija trase. Proračun električnog i magnetskog polja vrši se u poprečnom preseku, normalnom na pravac vodova. Električno polje određuje se samo u okolini nadzemnih vodova, dok se magnetsko polje određuje u okolini nadzemnih i/ili

podzemnih vodova. Zbog niske frekvencije, električno i magnetsko polje mogu da se posmatraju nezavisno jedno od drugog. S obzirom da je pretpostavljeno da je sredina linearna, proračun može da se uradi u kompleksnoj notaciji. Kompleksni predstavnici su uvedeni na osnovu efektivnih vrednosti prostoperiodičnih veličina.

3.1. Proračun električnog polja

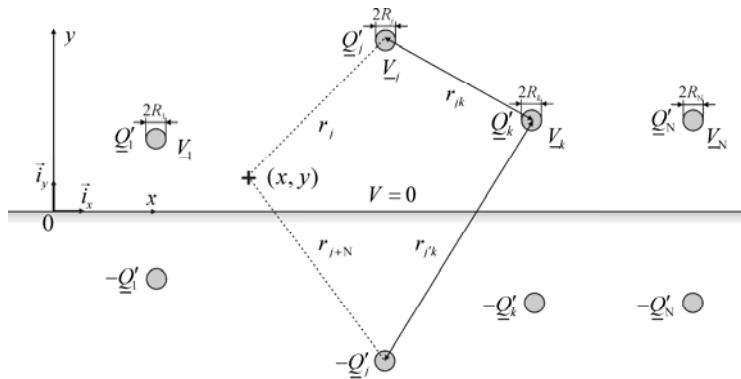
Intenziteti električnog polja uporedivi sa referentnim graničnim nivoima [3] postoje u okolini visokonaponskih nadzemnih vodova. Električna polja nekoliko puta manjih intenziteta postoje u okolini distributivnih vodova kao i u okolini nadzemnih vodova nižih naponskih nivoa. Još manji intenziteti električnih polja postoje u okolini trafostanica. Sloj zemlje (betona, asfalta i dr.) iznad podzemnih vodova značajno slabi njihovo električno polje, tako da je električno polje iznad podzemnih vodova malog intenziteta i ne postoji potreba da se računa.

Proračun električnog polja u okolini nadzemnih vodova je u skladu sa metodom za proračun električnog polja opisanom u Standardu IEC 62110 [4].

Električno polje u okolini nadzemnih vodova je posledica naelektrisanja na provodnicima, kao i naelektrisanja indukovanih na površi zemlje. Sredina koja okružuje nadzemni vod je vazduh. U skladu sa standardom IEC 62110, za ovaj proračun je pretpostavljeno da je vazduh savršen dielektrik specifične provodnosti $\sigma = 0$ i permitivnosti $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Osim toga, za proračun električnog polja korišćene su i sledeće pretpostavke:

- površ zemlje je ravna,
- zemlja je savršeno provodna,
- provodnici su pravolinijski i beskonačno dugi,
- provodnici su međusobno paralelni i paralelni površi Zemlje,
- poluprečnici provodnika su mnogo manji od njihovih visina i međusobnih rastojanja,
- naelektrisanje provodnika je lokalizovano na osi provodnika,
- u blizini tačaka u kojima se računa polje nema drugih objekata (u skladu sa standardima, određuje se neperturbovano električno polje).

Uz učinjene pretpostavke, problem određivanja električnog polja postaje dvodimenzionalan i može se rešavati u ravni poprečnog preseka. Uticaj zemlje zamenjen je električnim likovima, kao na slici 1.



Slika 1. Poprečni presek sistema od N provodnika. Uticaj zemlje je zamenjen likovima.

Postupak određivanja efektivne vrednosti električnog polja u ravni poprečnog preseka nadzemnih vodova se sastoji iz sledećih koraka.

Prvo se, na osnovu geometrije provodnika, određuju sopstveni i međusobni koeficijenti potencijala,

$$a_{jj} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{2y_j}{R_j} \right), \quad a_{jk} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{r_{jk}}{r_{jk}} \right), \quad j \neq k, \quad j, k = 1, \dots, N, \quad (1)$$

gde su (x_j, y_j) koordinate ose j -tog provodnika u ravni poprečnog preseka, R_j poluprečnik j -tog provodnika, $r_{jk} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j + y_k)^2}$ rastojanje j -tog provodnika i lika k -tog provodnika, a $r_{jk} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2}$ rastojanje j -tog i k -tog provodnika.

Zatim se određuju podužna naelektrisanja provodnika iz izraza

$$[Q'_j]_{N \times 1} = [a_{jk}]_{N \times N}^{-1} [V_j]_{N \times 1}, \quad (2)$$

gde su komponente vektora $[V_j]$ kompleksni predstavnici faznih napona u slučaju faznih provodnika, odnosno nule u slučaju zaštitnih provodnika.

Komponente vektora jačine električnog polja, koje stvaraju j -ti provodnik i njegov lik su

$$\underline{E}_{x,j}(x,y) = \frac{Q'_j}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{x-x_j}{r_j^2} - \frac{x-x_j}{r_{j+N}^2} \right), \quad \underline{E}_{y,j}(x,y) = \frac{Q'_j}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{y-y_j}{r_j^2} - \frac{y+y_j}{r_{j+N}^2} \right) \quad j=1,\dots,N, \quad (3)$$

gde su (x_j, y_j) koordinate ose j -tog provodnika, (x, y) koordinate tačke u kojoj se određuje polje, Q'_j kompleksni predstavnik podužnog naelektrisanja j -tog provodnika, $r_j = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}$ udaljenost tačke (x, y) od j -tog provodnika, i $r_{j+N} = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y+y_j)^2}$ udaljenost tačke (x, y) od lika j -tog provodnika.

Rezultantni vektor jačine električnog polja određuje se superpozicijom električnih polja koja stvaraju pojedini provodnici. Komponente rezultantnog vektora jačine električnog polja su

$$\underline{E}_x(x,y) = \sum_{j=1}^N \underline{E}_{x,j}(x,y), \quad \underline{E}_y(x,y) = \sum_{j=1}^N \underline{E}_{y,j}(x,y). \quad (4)$$

Efektivna vrednost rezultantnog vektora jačine električnog polja jednaka je

$$E(x,y) = \sqrt{|\underline{E}_x(x,y)|^2 + |\underline{E}_y(x,y)|^2}. \quad (5)$$

3.2. Proračun magnetskog polja

Magnetsko polje u okolini nadzemnih i podzemnih vodova je posledica električnih struja u vodovima. Efektivne vrednosti struja u provodnicima menjaju se u toku dana i sezonski, zbog promenljive potrošnje. U skladu sa Standardom EN 50413 [7], za proračun magnetskog polja se uzimaju nominalne ili maksimalne efektivne vrednosti struja u provodnicima.

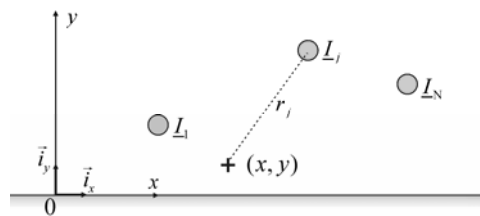
Za razliku od električnog polja, sloj zemlje (betona, asfalta i dr.) iznad podzemnih vodova ne slabi njihovo magnetsko polje.

Proračun magnetskog polja u okolini nadzemnih i podzemnih vodova je baziran na metodi opisanoj u dokumentu [5] IEEE magnetic fields task force report: "Magnetic fields from electric power lines theory and comparison to measurements," IEEE Trans. Power Del., vol. 3, pp. 2127–2136, Oct. 1988.

Proračun magnetskog polja je izvršen pod pretpostavkom da je u svim tačkama permeabilnost sredine jednaka permeabilnosti vakuma $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ i da je specifična provodnost jednaka nuli, $\sigma = 0$. Ovom pretpostavkom je zanemarena konačna specifična provodnost zemlje, ali na rastojanjima do 100m od vodova, ova pretpostavka unosi grešku manju od 1% [6] (greška je mala za rastojanja koja su znatno manja od dubine prodiranja u zemlju, koja pri frekvenciji od 50Hz iznosi nekoliko stotina metara). U skladu sa standardom IEC 62110 za proračun magnetskog polja korišćene su i sledeće pretpostavke:

- provodnici su pravolinijski i beskonačno dugi,
- provodnici su međusobno paralelni,
- struje su lokalizovane duž ose provodnika,
- zaštitnih provodnika nema,
- u blizini nema drugih objekata napravljenih od provodnih ili magnetskih materijala (u skladu sa standardima, određuje se neperturbovano magnetsko polje).

Uz učinjene pretpostavke, problem određivanja magnetskog polja postaje dvodimenzionalan i može se rešavati u ravni poprečnog preseka (slika 2).



Slika 2. Poprečan presek sistema N međusobno paralelnih provodnika.

Tok određivanja efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije u ravni poprečnog preseka vodova se sastoji iz sledećih koraka.

Prvo se na osnovu Bio-Savarovog zakona odrede komponente vektora magnetske indukcije koji stvara j -ti provodnik u tački sa koordinatama (x, y)

$$\underline{B}_{x,j}(x,y) = -\frac{\mu_0 \underline{I}_j (y-y_j)}{2\pi r_j^2}, \quad \underline{B}_{y,j}(x,y) = \frac{\mu_0 \underline{I}_j (x-x_j)}{2\pi r_j^2}, \quad j=1,\dots,N, \quad (6)$$

gde su (x_j, y_j) koordinate ose j -tog provodnika u ravni poprečnog preseka, $\underline{I}_j$ kompleksna jačina struje j -tog provodnika i $r_j = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}$ udaljenost tačke (x, y) od ose j -tog provodnika.

Rezultantni vektor magnetske indukcije određuje se superpozicijom vektora magnetske indukcije koje stvaraju pojedini provodnici. Komponente rezultantnog vektora magnetske indukcije su

$$\underline{B}_x(x,y) = \sum_{j=1}^N \underline{B}_{x,j}(x,y), \quad \underline{B}_y(x,y) = \sum_{j=1}^N \underline{B}_{y,j}(x,y). \quad (7)$$

Efektivna vrednost rezultantnog vektora magnetske indukcije jednaka je

$$B(x,y) = \sqrt{|\underline{B}_x(x,y)|^2 + |\underline{B}_y(x,y)|^2}. \quad (8)$$

3.3. Programski kod za proračun

Prve verzije programa za proračun električnog i magnetskog polja u okolini vodova za prenos i distribuciju električne energije napisane su 2007. godine i od tada su urađena razna poboljšanja (npr. [9]-[11]). Softver za proračun merne nesigurnosti urađen je u periodu januar-mart 2011. godine, i koristi se od aprila 2011. godine.

Programski kodovi NVE2428 v.01 i NVM2428 v.01 za proračun električnog i magnetskog polja u okolini nadzemnih i podzemnih vodova realizovani su u softverskom okruženju MATLAB i nezavisni su od verzije MATLAB-a. Programi su realizovani tako da mogu da vrše proračun električnog i magnetskog polja u mreži ispitnih tačaka u ravni poprečnog preseka vodova. Sve veličine neophodne za proračun nalaze se u listi ulaznih parametara u programske kodove.

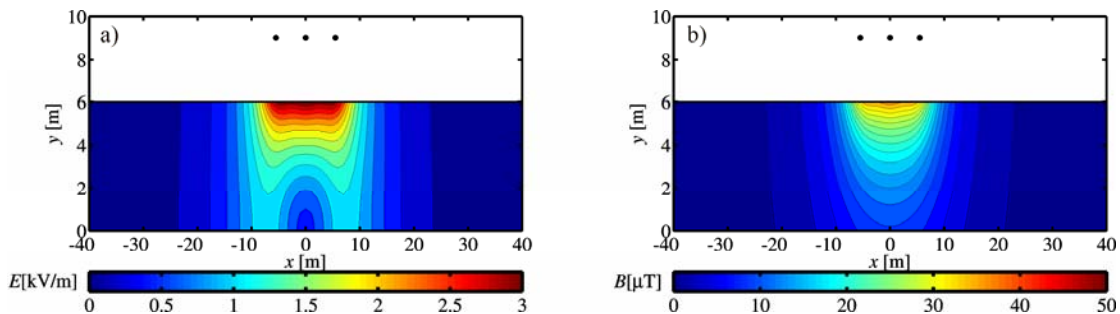
Lista ulaznih veličina za proračun magnetskog polja:

- I_p [A] - vektor efektivnih vrednosti struja faznih provodnika,
- PSI_p [stepen] - vektor početnih faza struja faznih provodnika,
- X_p [m] - vektor x koordinata položaja provodnika,
- Y_p [m] - vektor y koordinata položaja provodnika,
- X_m [m] - vektor x koordinata položaja ispitnih tačaka,
- Y_m [m] - vektor y koordinata položaja ispitnih tačaka,
- $Yplot$ [m] - visina na kojoj se određuje vektor magnetske indukcije.

Lista ulaznih veličina za proračun električnog polja:

- V_p [V] - vektor efektivnih vrednosti napona faznih provodnika,
- $THETA_p$ [stepen] - vektor početnih faza faznih provodnika,
- R_p [m] - vektor poluprečnika provodnika,
- X_p [m] - vektor x koordinata položaja provodnika,
- Y_p [m] - vektor y koordinata položaja provodnika,
- X_m [m] - vektor x koordinata položaja ispitnih tačaka,
- Y_m [m] - vektor y koordinata položaja ispitnih tačaka,
- $Yplot$ [m] - visina na kojoj se određuje vektor jačine električnog polja.

U samom programskom kodu, realizovana je funkcija koja rezultate proračuna električnog, odnosno magnetskog polja prikazuje grafički. Primeri grafičkog prikaza rezultata proračuna električnog i magnetskog polja prikazani su na slikama 3.a i 3.b, respektivno.



Slika 3. Primeri grafičkog prikaza efektivne vrednosti a) električnog polja i b) vektora magnetske indukcije.

3.4. Test primeri za validaciju proračuna

Validacija programa urađena je u cilju obezbeđivanja kvaliteta usluga Laboratorije, iz područja akreditacije, za ispitivanja u domenu proračuna električnog i magnetskog polja u slobodnim koridorima u okolini nadzemnih i podzemnih vodova za prenos električne energije u stacionarnom režimu rada, za frekvenciju 50Hz.

Test primeri za validaciju proračuna magnetskog polja

Test primere za validaciju proračuna magnetskog polja čine

- analitički izrazi dostupni u literaturi,
- primeri proračuna prikazani u međunarodnom standardu EN 62110 [4],
- primeri proračuna uz pomoć programskog paketa COMSOL [8].

Test primeri za validaciju proračuna magnetskog polja navedeni su u tabelama 1-3. Test primeri obuhvataju proračun efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije u okolini

- horizontalne konfiguracije trofaznog voda (test M1),
- vertikalne konfiguracije trofaznog voda (test M2),
- delta konfiguracije trofaznog voda (test M3),
- šestougaoone konfiguracije trofaznog voda pri netransponovanom redosledu faza (test M4),
- šestougaoone konfiguracije trofaznog voda pri transponovanom redosledu faza (test M5),
- dvosistenskog vertikalnog voda pri netransponovanom redosledu faza (test M6),
- dvosistenskog vertikalnog voda pri transponovanom redosledu faza (test M7),
- dvosistenskog podzemnog voda pri transponovanom redosledu faza (test M8).

Tabela 1. Test primeri M1-M3 za validaciju proračuna magnetskog polja u okolini jednosistemskih trofaznih vodova.

M1: Horizontalna konfiguracija, $h = 8\text{m}$, $s = 6,2\text{m}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I = 500\text{A}$.	M2: Vertikalna konfiguracija, $h = 10\text{m}$, $s = 2,5\text{m}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I = 500\text{A}$.	M3: Delta konfiguracija, $h = 12\text{m}$, $p = 4\text{m}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I = 500\text{A}$.
Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije za horizontalnu i vertikalnu konfiguraciju [12], [13] $B = \frac{\mu_0 I s}{2\pi R} \sqrt{\frac{3R^2 + s^2}{R^4 - 2R^2 s^2 \cos(2\varphi) + s^4}}.$		Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije za delta konfiguraciju [12], [13] $B = \frac{3\sqrt{2}\mu_0 I p}{4\pi} \sqrt{\frac{R^2 + p^2}{R^6 - 2R^3 p^3 \cos(3\varphi) + p^6}}.$

U test primerima, u cilju validacije programskih kodova, rezultati proračuna su upoređeni sa rezultatima koji su poznati u literaturi ili su dobijeni korišćenjem komercijalnog softvera.

U test primerima M1-M5 se vrši poređenje rezultata proračuna efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije dobijenih pomoću programa NVM2428v01 i analitičkih izraza izvedenih u radovima [12], [13]. Za daleke tačke ovi izrazi se pojednostavljaju i svode na izraze date u radovima [14], [15].

U test primerima M6-M8 se vrši poređenje rezultata proračuna efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije dobijenih pomoću programa NVM2428v01 i efektivnih vrednosti prikazanih u međunarodnom standardu EN 62110 [4]. U ovim test primerima izvršeno je i poređenje sa rezultatima proračuna pomoću programskog paketa COMSOL.

Tabela 2. Test primeri M4 i M5 za validaciju proračuna magnetskog polja u okolini šestougaoone konfiguracije dvosistemskih trofaznih vodova.

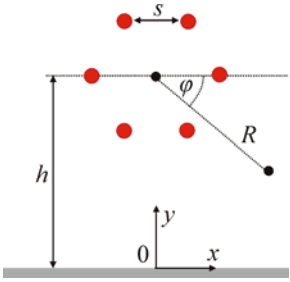
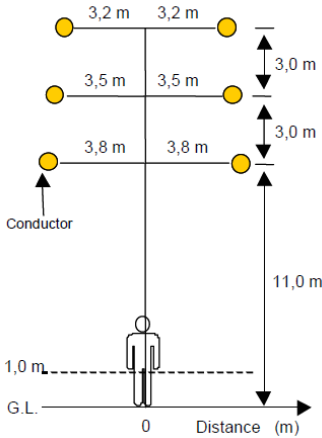
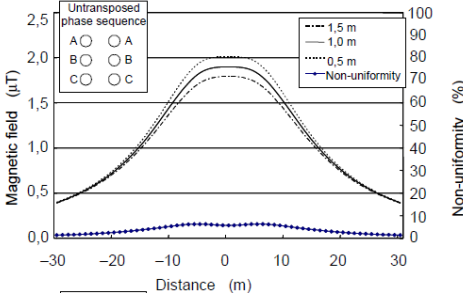
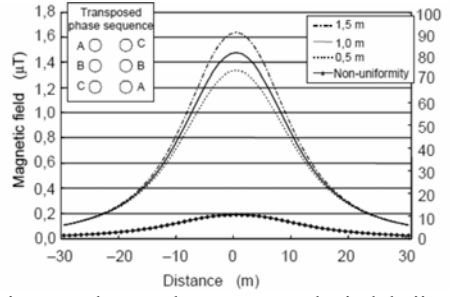
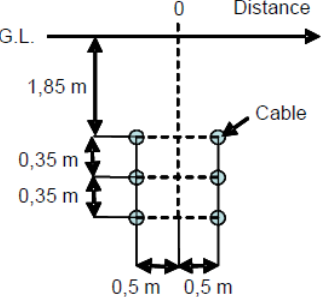
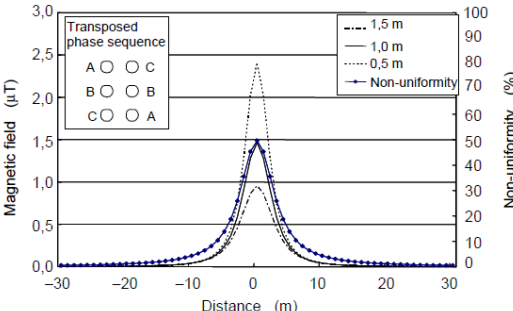
 Šestougaoana konfiguracija dvosistemskog voda, $h = 12\text{m}$, $s = 4\text{m}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I = 500\text{A}$.	M4: Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije pri netransponovanom redosledu faza [12], [13] $B = \frac{3\mu_0 I s}{2\pi} \sqrt{\frac{R^8 + R^6 s^2 + 2R^4 s^4 (\cos(2\varphi) - \cos(4\varphi)) + R^2 s^6 + s^8}{R^{12} - 2R^6 s^6 \cos(6\varphi) + s^{12}}}$ M5: Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije pri transponovanom redosledu faza [12], [13] $B = \frac{3\sqrt{2}\mu_0 I p}{4\pi} \sqrt{\frac{R^2 + p^2}{R^6 - 2R^3 p^3 \cos(3\varphi) + p^6}}$
--	--

Tabela 3. Test primeri M6-M8 za validaciju proračuna magnetskog polja u okolini dvosistemskih trofaznih vodova.

 Dvosistemski nadzemni vod, $h = 1\text{m}$, $s = 3\text{m}$, $d_1 = 6,4\text{m}$, $d_2 = 7\text{m}$, $d_3 = 7,6\text{m}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I = 200\text{A}$.	 M6: Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije na visinama 0,5m, 1m i 1,5m pri netransponovanom redosledu faza [4].  M7: Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije na visinama 0,5m, 1m i 1,5m pri transponovanom redosledu faza [4].
 Dvosistemski podzemni vod, $h = 1,85\text{m}$, $s = 0,35\text{m}$, $d = 1\text{m}$, $I_1 = I_2 = I_3 = I = 200\text{A}$.	 M8: Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije na visinama 0,5m, 1m i 1,5m pri transponovanom redosledu faza [4].

Poređenje se vrši na osnovu relativne razlike rezultata proračuna $B_{NVE2428}$ i poznate vrednosti B_{REF} . Relativna razlika rezultata proračuna efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije definisana je kao

$$\Delta_B [\%] = 100 \cdot \left| \frac{B_{NVE2428} - B_{REF}}{B_{REF}} \right|, \quad (9)$$

gde je $B_{NVE2428}$ efektivna vrednost vektora magnetske indukcije dobijena korišćenjem programa NVM2428v01, a B_{REF} efektivna vrednost vektora magnetske indukcije dostupna u literaturi, u međunarodnom standardu EN 62110 ili dobijena korišćenjem programskog paketa COMSOL.

U tabeli 4 su prikazane maksimalne relativne razlike za test primere M1-M8. Proračun je urađen u ravni poprečnog preseka sistema, kao i na visini 1 m iznad zemlje.

Tabela 4. Relativna razlika rezultata proračuna efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije sa NVM2428v01.

Test	Najveća relativna razlika Δ_B [%]	
	u ravni poprečnog preseka	na 1 m iznad zemlje
M1	$4,3 \cdot 10^{-11}\%$	$1,3 \cdot 10^{-13}\%$
M2	$2,7 \cdot 10^{-13}\%$	$1,2 \cdot 10^{-13}\%$
M3	$3,1 \cdot 10^{-11}\%$	$1,4 \cdot 10^{-13}\%$
M4	$1,5 \cdot 10^{-12}\%$	$1,1 \cdot 10^{-13}\%$
M5	$2 \cdot 10^{-12}\%$	$1,2 \cdot 10^{-12}\%$
M6	3,1% *	1,5%
M7	3,6% *	1,9%
M8	4,8% *	2,6%

* neposredno uz površ provodnika

Test primeri za validaciju proračuna električnog polja

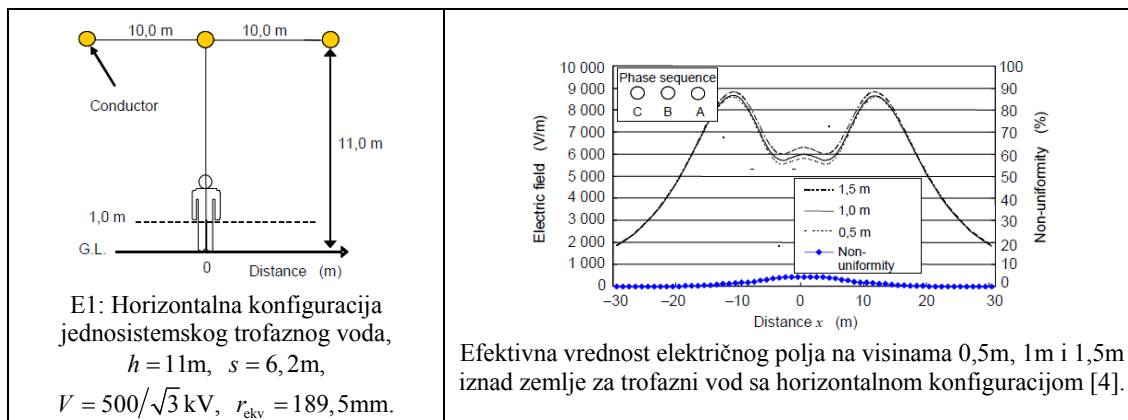
Test primere za validaciju proračuna električnog polja čine

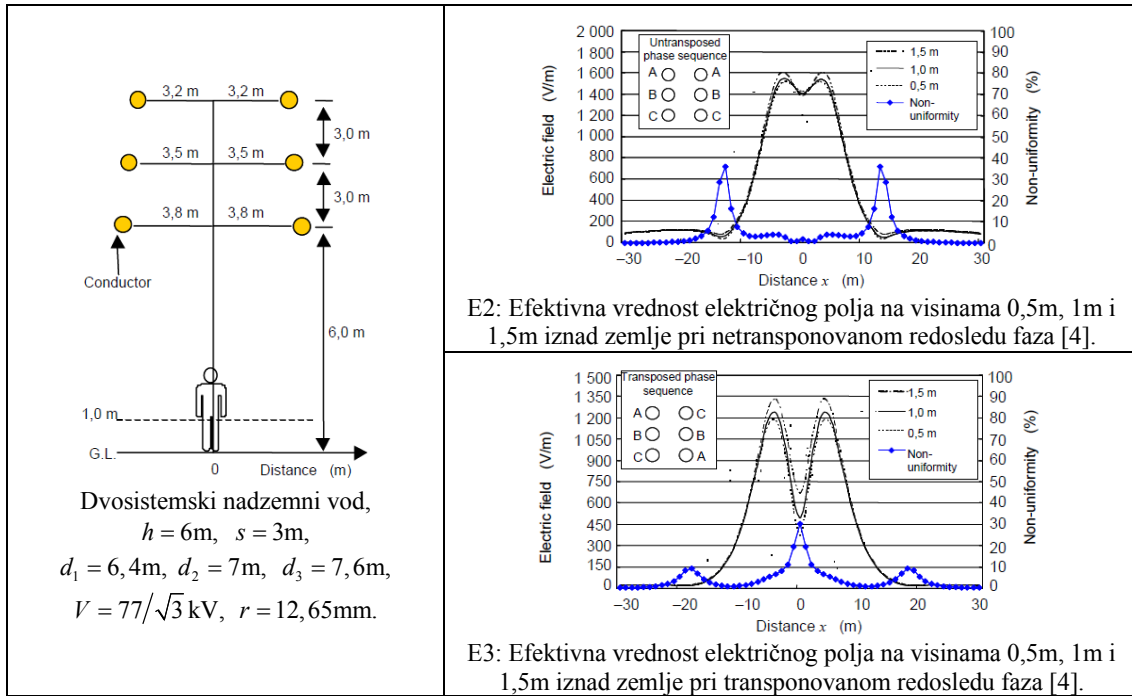
- primeri proračuna u međunarodnom standardu EN 62110 [4],
- primeri proračuna sa programskim paketom COMSOL [8].

U tabeli 5 su dati test primeri za validaciju proračuna električnog polja u slobodnim koridorima nadzemnih vodova. Navedene konfiguracije trofaznih vodova su veoma česte u praksi. Test primeri obuhvataju proračun električnog polja u okolini

- horizontalne konfiguracije trofaznog voda (test E1),
- dvosistenskog trofaznog voda pri netransponovanom redosledu faza (test E2),
- dvosistenskog trofaznog voda pri transponovanom redosledu faza (test E3).

Tabela 5. Test primeri za validaciju proračuna električnog polja.





Poređenje se vrši na osnovu relativne razlike rezultata proračuna E_{NVE2428} i poznate vrednosti E_{REF} . Relativna razlika proračuna efektivne vrednosti električnog polja definisana je kao

$$\Delta_E [\%] = \left| \frac{E_{\text{NVE2428}} - E_{\text{REF}}}{E_{\text{REF}}} \right| 100\%, \quad (10)$$

gde je E_{NVE2428} efektivna vrednost električnog polja dobijena korišćenjem programa NVE2428v01, a E_{REF} efektivna vrednost električnog polja dostupna u međunarodnom standardu EN 62110 ili dobijena korišćenjem programskog paketa COMSOL. U tabeli 6 su brojno prikazane maksimalne relativne razlike za test primere E1-E3. Proračun je urađen u ravni poprečnog preseka sistema, kao i na visini 1 m iznad zemlje.

Tabela 6. Relativna razlika rezultata proračuna električnog polja sa NVE2428v01.

Test	Najveća relativna razlika $\Delta_E [\%]$	
	u ravni poprečnog preseka	na 1m iznad zemlje
E1	1%	0,06%
E2	8%	4,4%
E3	4%	3,6%

3.5. Merna nesigurnost proračuna

Za procenu merne nesigurnosti proračuna korišćena je Monte Karlo metoda, jer ova metoda nije ograničena uslovima kao što je linearnost modela i uslovima primene centralne granične teoreme.

Monte Karlo metoda

Model koji se posmatra ima jednu izlaznu veličinu Y (efektivnu vrednost vektora magnetske indukcije ili vektora jačine električnog polja). Model je dat kao funkcionalna zavisnost između ulaznih veličina

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_N)^T, \quad (11)$$

i izlazne veličine Y ,

$$Y = f(X). \quad (12)$$

Svako ulaznoj veličini dodeljena je funkcija gustine verovatnoće (probability density function, skraćeno PDF). Svakoj funkciji gustine dodeljuje se raspodela (uniformna, normalna, itd.). Ako znanje o ulaznim veličinama nije bazirano na statističkim informacijama, tim ulaznim veličinama dodeljuje se uniformna raspodela [16]. Za Monte

Karlo metodu funkcije gustine verovatnoće se koriste direktno. Tokom računanja, funkcije gustine verovatnoće se prostiru kroz model i dobija se funkcija gustine verovatnoće izlazne veličine i interval pokrivanja koji odgovara unapred zadatoj verovatnoći pokrivanja (obično 95%).

Kada se broj uzoraka M za Monte Karlo metodu izabere unapred, onda ne postoji kontrola stepena aproksimacije koju daje Monte Karlo metoda. Razlog tome je da stepen aproksimacije zavisi od „oblika“ funkcije gustine verovatnoće izlazne veličine i željenog intervala pokrivanja. Takođe, proračun je stohastičke prirode, jer je baziran na slučajnom uzorkovanju. Ipak za $M = 10^6$ može da se očekuje da će dobijeni interval pokrivanja za izlaznu veličinu biti takav da njegova dužina ima jednu ili dve značajne decimalne cifre [17]. Poznato je da procena izlazne veličine y i odgovarajuće standardne nesigurnosti $u(y)$ znatno brže konvergiraju sa porastom broja M , u odnosu na donju i gornju granicu intervala pokrivanja [2].

Za primenu Monte Karlo metode uzorkuje se M vektora $x_r = (x_{1,r}, \dots, x_{N,r})^T$, $r = 1, \dots, M$ iz funkcija gustine verovatnoće ulazne veličine. Izlazna veličina se izračunava za svaki od M uzoraka ulazne veličine. Vrednost izlazne veličine koja odgovara r -tom uzorku ulazne veličine određuje se iz

$$y_r = f(x_r), \quad r = 1, \dots, M. \quad (13)$$

Vrednosti $y_1, \dots, y_M$ se koriste za određivanje procene y izlazne veličine Y i odgovarajuće standardne nesigurnosti $u(y)$, kao i za određivanje aproksimacije funkcije gustine verovatnoće izlazne veličine Y . Ove vrednosti izlazne veličine se takođe koriste za određivanje diskretne reprezentacije funkcije raspodele izlazne veličine Y i intervala pokrivanja za Y .

Srednja vrednost $\hat{y}$ izlazne veličine se uzima da je jednaka proceni izlazne veličine y , a standardna devijacija ove vrednosti $u(\hat{y})$ se uzima da je jednaka standardnoj nesigurnosti $u(y)$ izlazne veličine. Srednja vrednost $\hat{y}$ i standarda devijacija $u(\hat{y})$ izlazne veličine određuju se iz izraza

$$\hat{y} = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M y_r, \quad u(\hat{y}) = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{r=1}^M (y_r - \hat{y})^2}. \quad (14)$$

Ovako određena vrednost y ima najmanju srednju kvadratnu devijaciju u odnosu na sve ostale izbore procene izlazne veličine. Ipak, u opštem slučaju, ova vrednost se ne poklapa sa vrednošću izlazne veličine koja se dobija kada se za ulazne veličine uzme da su jednake njihovim procenama. Vrednost y , čak i za $M \rightarrow \infty$, neće biti jednaka vrednosti izlazne veličine koja se dobija kada se za ulazne veličine uzme da su jednake njihovim procenama, osim ako je model linearan.

Vrednosti y_r , $r = 1, \dots, M$, prikazane kao histogram (sa odgovarajućom širinom stubića) formiraju raspodelu frekvencija vrednosti izlazne veličine. Kada se ona normalizuje tako da ima jediničnu površinu, onda se dobija aproksimacija $\hat{g}(\eta)$ funkcija gustine verovatnoće izlazne veličine $g(\eta)$. Tako dobijen histogram je koristan za razumevanje funkcije gustine verovatnoće izlazne veličine, npr. da li je simetrična ili nesimetrična, itd. Neka je

$$\eta_0 \leq \min \{y_r : r = 1, \dots, M\}, \quad \eta_b \geq \max \{y_r : r = 1, \dots, M\}. \quad (15)$$

Interval $[\eta_0, \eta_b]$ se podeli na b podintervala $\{B_k : k = 1, \dots, b\}$, gde su

$$B_k = \begin{cases} [\eta_{k-1}, \eta_k), & k = 1, \dots, b-1, \\ [\eta_{k-1}, \eta_k], & k = b. \end{cases} \quad (16)$$

Svaka vrednost y_r , $r = 1, \dots, M$ pripada tačno jednom podintervalu B_k , $k = 1, \dots, b$. Intervali ne moraju biti jednake dužine. Dalje, neka su vrednosti

$$h_k = \frac{\text{card}\{y_r \in B_k : r = 1, \dots, M\}}{\eta_k - \eta_{k-1}}, \quad g_k = \frac{h_k}{M}, \quad k = 1, \dots, b. \quad (17)$$

Vrednost h_k je visina k -tog stubića, koji odgovara k -tom podintervalu B_k na histogramu vrednosti izlazne veličine. Ova visina se bira tako da je površina stubića proporcionalna broju vrednosti izlazne veličine koje pripadaju intervalu B_k . Kada se visina stubića skalira tako da ukupna površina svih stubića bude jednaka jedinici, dobija se gustina verovatnoća g_k . Ovako skaliran histogram definisan podintervalima B_k i gustinom verovatnoća g_k , $k = 1, \dots, b$ predstavlja aproksimaciju funkcija gustine verovatnoće izlazne veličine [16].

Za određivanje diskretne reprezentacije G funkcije raspodele $G(\eta)$ izlazne veličine, potrebno je poredati vrednosti izlazne veličine y_r , $r = 1, \dots, M$ u neopadajući niz. Poređane vrednosti su označene sa $y_{(r)}$, $r = 1, \dots, M$. Diskretna reprezentacija funkcije raspodele data je sa $G = (y_{(1)}, y_{(2)}, \dots, y_{(M)})$. Diskretna reprezentacija funkcija

raspodele koristi se za određivanje intervala pokrivanja. Verovatnoća pokrivanja p mora da se izabere. Za $p = 0,95$ dobija se interval pokrivanja od 95%. Neka je

$$q = \lfloor pM + 0,5 \rfloor, \quad (18)$$

gde $\lfloor \cdot \rfloor$ označava najveći ceo deo broja. Intervala pokrivanja od 95% ima više. Od interesa je da se odredi najkraći interval pokrivanja od 95%. Najkraći interval pokrivanja $[y_{\text{low}}, y_{\text{high}}]$, gde je $y_{\text{low}} = y_{(r^*)}$ i $y_{\text{high}} = y_{(r^*+q)}$, određuje se iz uslova

$$y_{(r^*+q)} - y_{(r^*)} \leq y_{(r+q)} - y_{(r)}, \quad r = 1, \dots, M - q. \quad (19)$$

Rezultati proračuna treba da se prikažu kao interval pokrivanja $[y_{\text{low}}, y_{\text{high}}]$ koji odgovara verovatnoći pokrivanja od 95% [1].

Pregled postupka određivanja merne nesigurnosti rezultata proračuna, baziran na Monte Karlo metodi, dat je u tabeli 7.

Tabela 7. Pregled postupka određivanja merne nesigurnosti rezultata proračuna baziran na Monte Karlo metodi.

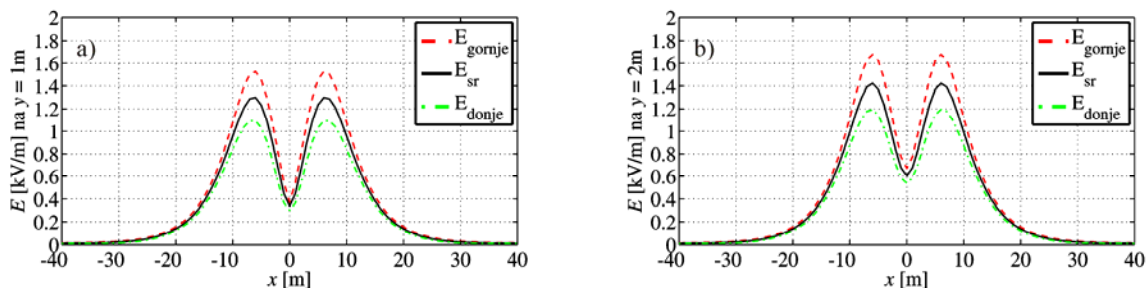
Ulaz		Izlaz
N	broj ulaznih veličina	uzorci izlazne veličine $y_r = f(x_r)$, $r = 1, \dots, M$
X	ulazne veličine $X = (X_1, X_2, \dots, X_N)^T$	procena izlazne veličine Y , $y = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M y_r$
$g(\xi)$	PDF ulaznih veličina	standardna nesigurnost, $u^2(y) = \frac{1}{M-1} \sum_{r=1}^M (y_r - y)^2$
f	funkcija specifična za model $Y = f(X)$	G diskretna reprezentacija funkcije raspodele za Y
M	broj Monte Karlo uzorkovanja	$[y_{\text{low}}, y_{\text{high}}]$ interval pokrivanja od 95%
x_r	uzorci $x_r = (x_{1,r}, \dots, x_{N,r})^T$, $r = 1, \dots, M$	
$p = 95\%$ nivo pokrivanja, $q = \lfloor pM + 0,5 \rfloor$		

Primer određivanja merne nesigurnosti rezultata proračuna

Merna nesigurnost proračuna efektivne vrednosti električnog polja posledica je nesigurnosti ulaznih parametara, kao što su položaj provodnika i efektivna vrednost napona. U primeru je izabran dvosistemska nadzemni vod naponskog nivoa 110kV sa transponovanim redosledom faza. Osa simetrije trase je prava $x = 0$. Ulazni podaci za proračun električnog polja su:

- X pozicija provodnika u [m]: $X_p = [-5.6 \ -4.4 \ -3.3 \ 3.3 \ 4.4 \ 5.6]$;
- Y pozicija provodnika u [m]: $Y_p = [8 \ 12.2 \ 16.4 \ 16.4 \ 12.2 \ 8]$;
- Poluprečnik provodnika u [m]: $R_p = 10.916 \cdot [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \cdot 1e-3$;
- Fazni napon provodnika u [V]: $V_p = 110 \cdot [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \cdot 1000 / \sqrt{3}$;
- Početna faza faznih napona u [stepenima]: $THETA_p = [0 \ -120 \ 120 \ 0 \ -120 \ 120]$.

Pretpostavljeno je da su trofazni sistemi simetrični, što je najčešći slučaj u praksi, u stacionarnom režimu rada. Za sve ulazne veličine pretpostavljena je uniformna raspodela. Za proširenu relativnu mernu nesigurnost faznih napona usvojena je vrednost $u_r(V) = 10\%$ [18]. Za proširenu mernu nesigurnost položaja provodnika u pravcu x -ose i y -ose usvojene vrednosti su $u(x) = 0,1\text{m}$ i $u(y) = 0,5\text{m}$, respektivno. Proračun merne nesigurnosti efektivne vrednosti vektora jačine električnog polja je baziran na $M = 5 \cdot 10^5$ uzoraka. Na slici 4 prikazan je najkraći interval pokrivanja za verovatnoću pokrivanja od 95% (E_{donje} , E_{gornje}) na visinama 1m i 2m iznad tla.



Slika 4. Najkraći interval pokrivanja za verovatnoću pokrivanja od 95% (E_{donje} , E_{gornje}) na a) 1m i b) 2m iznad tla.

Nelinearnost modela za proračun električnog i magnetskog polja

U primeni Monte Karlo metode nema veličine koja odgovara koeficijentima osetljivosti, s obzirom da Monte Karlo metoda deluje u terminima nelinearnog modela, a ne linearizovanog modela kao JCGM 100. Za linearizovani model koeficijenti osetljivosti „reprodukuju“ linearne efekte, a za nelinearne modele koeficijenti osetljivosti daju informacije prvog reda [16]. Monte Karlo metoda može da se prilagodi tako da pruži informacije čiji smisao odgovara koeficijentima osetljivosti. Neka su sve ulazne veličine osim jedne, recimo X_k , jednake svojim nominalnim vrednostima. Pod ovim okolnostima model se u suštini svodi na model sa samo jednom ulaznom veličinom X_k . Uzorkovanjem iz funkcije gustine verovatnoće ove ulazne veličine, može da se odredi diskretna reprezentacija funkcije raspodele izlazne veličine u odnosu na X_k . Standardna devijacija $\hat{u}(y_k)$ određena iz ove diskretne reprezentacije može da se uzme kao aproksimacija komponente standardne nesigurnosti $u(y)$ koja odgovara X_k . Standardna devijacija $\hat{u}(y_k)$ određuje se iz izraza

$$y_k = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M y_{k,r}, \quad \hat{u}^2(y_k) = \frac{1}{M-1} \sum_{r=1}^M (y_{k,r}^2 - y_k^2). \quad (20)$$

Upotreba „nelinearnih“ koeficijenta osetljivosti umesto „linearnih“ koeficijenata osetljivosti omogućava da individualni nelinearni efekti budu uzeti u obzir. „Nelinearni“ koeficijent osetljivosti $\hat{c}_k$ je definisan sa [16]

$$\hat{c}_k = \frac{\hat{u}(y_k)}{u(x_k)}. \quad (21)$$

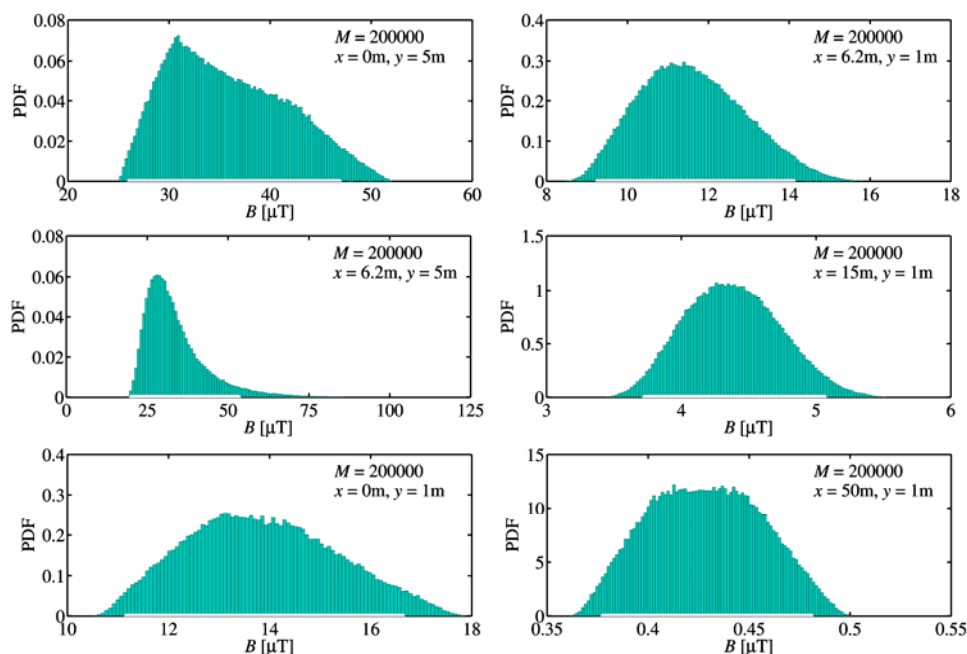
Koeficijent $\hat{c}_k$ jednak je apsolutnoj vrednosti $|c_k|$ „linearnog“ koeficijenta osetljivosti c_k u slučajevima kada je model linearan u odnosu na X_k , i blizak je toj vrednosti kada je nelinearnost u odnosu na X_k zanemarljiva. Kada se $\hat{c}_k$ značajno razlikuje od $|c_k|$ tada nelinearni efekti mogu značajno da utiču na standardnu nesigurnost $u(y)$.

Za ilustraciju nelinearnosti modela korišćen je test primer M1 sa parametrima $I = 500$ A, $s = 6,2$ m i $h = 8$ m. Za osu simetrije usvojena je prava $x_0 = 0$. Svim ulaznim veličinama pridružene su uniformne raspodele sa proširenim relativnim mernim nesigurnostima $u_r(I) = 10\%$, $u_r(s) = 5\%$, $u_r(h) = 10\%$ i $u_r(x_0) = u_r(s)$. „Linearni“ koeficijenti osetljivosti c_k i „nelinearni“ koeficijent osetljivosti $\hat{c}_k$ za pojedine tačke u okolini voda dati su u tabeli 8. Može da se uoči da sa porastom rastojanja, model postaje linearan i da zavisi samo od parametara I i s . Međutim, za tačke koje su blizu voda razlike u koeficijentima pokazuju da se model ne može smatrati linearnim, što ukazuje na neophodnost primene Monte Karlo metode.

Tabela 8. Test M1: „linearni“ koeficijenti osetljivosti – JCGM 100 i „nelinearni“ koeficijenti osetljivosti dobijeni Monte Karlo metodom za M=200000.

koordinate tačke	(0m;5m)	(6,2m;5m)	(0m;1m)	(6,2m;1m)	(15m;1m)	(50m;1m)
$ c_I = dB/dI $	0,0705	0,0632	0,0276	0,0231	0,0088	0,0009
$ c_s = dB/ds $	0,1885	3,7757	0,7299	1,3930	0,8559	0,0715
$ c_h = dB/dh $	11,357	11,548	2,6170	2,1643	0,3088	0,0025
$ c_x = dB/dx $	0	23,867	0	1,9170	0,6616	0,0176
$\hat{c}_I = \hat{u}(B_I)/u(I)$	0,0705	0,0634	0,0276	0,0231	0,0087	0,0009
$\hat{c}_s = \hat{u}(B_s)/u(s)$	0,1866	3,7756	0,7309	1,3923	0,8560	0,0715
$\hat{c}_h = \hat{u}(B_h)/u(h)$	11,951	12,170	2,6364	2,1843	0,3084	0,0025
$\hat{c}_x = \hat{u}(B_x)/u(x)$	0,3020	25,661	0,0299	1,9211	0,6622	0,0176

Za navedeni primer, na slici 5 su prikazane funkcije gustine verovatnoće (PDF) efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije za različite tačke u okolini voda. Očigledno je da se raspodele ne mogu smatrati normalnim raspodelama, što takođe ukazuje na potrebu primene Monte Karlo metode.



Slika 5. Funkcija gustine verovatnoće i interval pokrivanja (označen belom linijom na apscisi) za test primer M1.

3.6. Kako je realizovano tehničko rešenje i gde se primenjuje, odnosno koje su mogućnosti primene

Pomoću ovog Tehničkog rešenja mogu se predvideti nivoi električnog i magnetskog polja u okolini vodova za prenos i distribuciju električne energije. Iskaz o mernoj nesigurnosti je sastavni deo rezultata proračuna.

Izračunati nivoi polja mogu se koristiti za određivanje izloženosti stanovništva, kao i nivoa polja u kojim se nalazi elektronska i druga osetljiva oprema. Osim toga, opisani programi za proračun omogućavaju i analizu uticaja promene parametara izvora na nivo polja.

Trenutno razvijenu verziju softvera koristi Laboratorija za elektromagnetsku kompatibilnost, Katedra za Teorijsku elektrotehniku, Departman za Elektroniku, Energetiku u Telekomunikacije, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu za određivanje izloženosti stanovništva električnom i magnetskom polju industrijske frekvencije u okolini vodova za prenos i distribuciju električne energije. Osim toga, programe koriste i istraživači sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu u aktivnostima koje se odnose na određivanje nivoa električnog i magnetskog polja u Novom Sadu i okolini.

Procena merne nesigurnosti, opisana u ovom Tehničkom rešenju, uz male modifikacije može da se primeni i na druge nelinearne modele koji se pojavljuju u različitim proračunima.

4. Literatura

- [1] JCGM 100:2008 – Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.
- [2] JCGM 101:2008 – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Supplement 1 —Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
- [3] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima, “Sl. glasnik RS” br. 104/2009, decembar 2009.
- [4] SRPS EN 62110:2011, Electric and magnetic field levels generated by a.c. power systems – Measurement procedures with regard to public exposure.
- [5] IEEE magnetic fields task force report: “Magnetic fields from electric power lines theory and comparison to measurements,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 3, pp. 2127–2136, Oct. 1988.
- [6] J. Swanson, “Magnetic fields from transmission lines: Comparison of calculations and measurements,” in Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib., vol. 142, Sep. 1988, pp. 481–486.
- [7] SRPS EN 50413:2008, Osnovni Standard za procedure merenja i izlaganja ljudi električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima (od 0Hz do 300GHz).
- [8] COMSOL MULTIPHYSICS, CLS 3.5 documentation, 2008.
- [9] M. Milutinov, “Optimizacija elektromagnetskog polja nadzemnih vodova”, magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, oktobar 2009, mentor prof. dr Neda Pekarić Nađ.

- [10] M. Milutinov, A. Juhas, M. Prša, "Electric and magnetic field in vicinity of overhead multi-line power system", Acta Electrotehnica, Proceedings of the 2nd Intern. Conf. on Modern Power Systems MPS 2008, Cluj-Napoca, Romania, 12-14 November 2008, pp. 313-316.
- [11] M. Milutinov, A. Juhas, D. Herceg "Merenje električnog i magnetskog polja u okolini 400 kV dalekovoda", 15th International symposium on power electronics – Ee 2009, Paper No. EE6-1.1, pp. 1-4, Novi Sad, Srbija, 28-30 Oktobar 2009.
- [12] G. Filippopoulos and D. Tsanakas, "Analytical calculation of the magnetic field produced by electric power lines," IEEE Trans. Power Del., vol. 10, no. 2, pp. 1474–1482, April 2005.
- [13] F. Moro and R. Turri, "Fast analytical computation of power-line magnetic fields by complex vector method," IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 2, pp. 1042–1048, April 2008.
- [14] W. T. Kaune and L. E. Zaffanella, "Analysis of magnetic fields produced far from electric power lines," IEEE Trans. Power Del., vol. 7, no. 4, pp. 2082–2091, Oct. 1992.
- [15] P. Pettersson, "Principles in transmission line magnetic field reduction," IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 3, pp. 1587–1593, July 1996.
- [16] M. G. Cox and P. M. Harris, "Uncertainty evaluation," Software support for metrology, Best practice guide No. 6. Tech. Rep. DEM-ES-010 National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2006.
- [17] M. G. Cox and P. M. Harris, "Software specifications for uncertainty evaluationon," Tech. Rep. DEM-ES-010, 010 National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2006.
- [18] Uredba o isporuci električne energije, "Sl. glasnik RS", br. 107/2005.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централa: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ffndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2012-12-07

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 2. редовној седници одржаној дана 28.11.2012. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 14.2.1. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње / верификација нових техничких решења

У циљу доношења одлуке о прихватању *техничког решења –под називом:*

ПРИМЕНА МОНТЕ КАРЛО МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ ПРОРАЧУНА ЕЛЕКТРИЧНОГ И МАГНЕТСКОГ ПОЉА НАДЗЕМНИХ И ПОДЗЕМНИХ ВОДОВА

именују се рецензенти:

- Проф. др Славољуб Алексић, Електронски факултет у Нишу
- Др Милић Текић, Технички факултет у Чачку, уредник часописа Serbian Journal of electrical Engineering
- Проф. др Мила Стојаковић, Факултет техничких наука у Новом Саду

Аутори техничког решења: доцент др Анамарија Јухас, др Миодраг Милутинов, проф. др Неда Пекерић-Нађ.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Рале Дорословачки

МИШЉЕЊЕ О ИСПУЊЕНОСТИ КРИТЕРИЈУМА ЗА ПРИЗНАЊЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова

Аутори: Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Неда Пекарић-Нађ
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Категорија техничког решења: M85 - софтвер
Развијено у оквиру пројекта технолошког развоја TP-32016

Техничко решење припада пољу техничко-технолошких наука и области електротехничког инжењерства. Корисник техничког решења је Лабораторија за електромагнетску компатибилност, Факултета техничких наука у Новом Саду. Техничко решење је реализовано у оквиру пројекта технолошког развоја „Нове генерације уграђених електронских компоненти и система у неорганским и органским технологијама за уређаје широке потрошње“, број пројекта TP-32016, период 2011-2014. Руководилац пројекта је проф. др Љиљана Живанов.

Техничко решење „Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова“, приказано на 15 страница А4 формата, које садрже 5 слика и 8 табела, груписано је у 4 поглавља

1. Опис проблема који се решава техничким решењем,
2. Стање решености проблема у свету,
3. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже),
4. Литература.

На основу анализе техничког решења „Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова“ могу се извести следећи закључци:

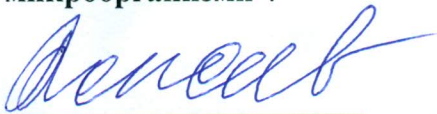
1. Документација техничког решења јасно приказује техничко решење кроз опис проблема, затим кроз детаљан осврт на стање решености проблема у свету, садржи одговарајући приказ теоријских основа на којима је засновано техничко решење и приказује примену реализованог техничког решења.

2. Предложено техничко решење представља ефикасан алат за одређивање мерне несигурности резултата прорачуна електричног и магнетског поља, са могућношћу да се уз модификације примени и у другим прорачунима.

3. Техничко решење има практичну примену за процену изложености људи електричном и магнетском пољу.

На основу претходног, предлажем да се „Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова“ аутора др Анамарије Јухас, мр Миодрага Милутинова и проф. др Неде Пекарић Нађ прихвати као ново техничко решење и у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача класификује као резултат „M85 Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми“.

Ниш, 22. 11. 2012.год.


Проф. Др Славољуб Алексић,
Електронски факултет, Ниш

НАЗИВ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова

Аутори: Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Неда Пекарић-Нађ
Факултет техничких наука, Нови Сад

Категорија техничког решења:

M85: Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми

Развијено у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Аутори др Анамарија Јухас, мр Миодраг Милутинов и проф. др Неда Пекарић Нађ су приказали, теоријски обрадили и имплементирали комплетну структуру техничког решења. Техничко решење је приказано у четири поглавља:

1. Опис проблема који се решава;
2. Стање решености проблема у свету;
3. Детаљан опис техничког решења;
4. Литература.

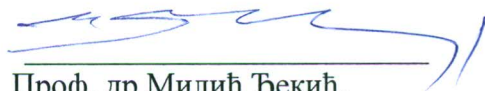
Предложено техничко решење је написано на основу нових теоријских формулација у одређивању мерне несигурности резултата и класичних теоријских формулација из области прорачуна електричног и магнетског поља енергетских водова.

На основу описа техничког решења могу се донети следећи закључци:

1. Софтвер се користи за потребе Лабораторије за електромагнетску компатибилност, Факултета техничких наука у Новом Саду;
2. Софтвер даје поуздане резултате прорачуна;
3. Предложено техничко решење представља практичан алат за одређивање мерне несигурности резултата прорачуна електричног и магнетског поља, са могућношћу да се примени и у другим прорачунима;
4. Поседовање сопственог софтвера омогућава његово прилагођавање новим условима, као и његов даљи развој.

Аутори, др Анамарија Јухас, мр Миодраг Милутинов и проф. др Неда Пекарић Нађ су приказали комплетну структуру техничког решења. На основу свега наведеног, предлагем да се техничко решење под називом „Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова“, прихвати као ново техничко решење-софтвер и у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Службени гласник РС“, број 38/2008) класификује као резултат „**M85 Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми**“.

Чачак,
22. 11. 2012.год.


Проф. др Милић Ћекић,
уредник часописа *Serbian Journal of
Electrical Engineering*,
Факултет Техничких наука у Чачку



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

Датум: :

ИЗВЕШТАЈ О РЕЦЕНЗИЈИ

Страна /
укупно страна: 1/1

Предато на рецензију:

24.07.2012.

Рецензирано:

24.08.2012.

ПОДАЦИ О РЕЦЕЗЕНТИМА

Рецензенти:

(име и презиме, ужа научна област,
адреса, телефон, факс, E-mail)

1. Др. Славољуб Алексић, редовни професор,
Електронски факултет Ниш, УНО
Теоријска електротехника, Телефон 018-
529-105, slavoljub.aleksic@elfak.ni.ac.rs
2. Др. Милић Ђекић, уредник часописа
Serbian Journal of Electrical Engineering,
djekic@tfc.kg.ac.rs
3. Др. Мила Стојаковић, редовни професор,
ФТН, УНО Енергетска електроника,
Телефон 021-485-2000, mila@uns.ac.rs

ПОДАЦИ О ПУБЛИКАЦИЈИ И АУТОРУ

Аутор(и):

Анамарија Јухас,

Миодраг Милутинов,

Неда Пекарић Нађ

Наслов публикације: “Примена Монте Карло
методе за процену мерне несигурности
прорачуна електричног и магнетског поља
надземних и подземних водова”

Карактер дела (означити одговоре):

- Монографија (K10)
- Прегледни чланак, поглавље у књизи (K20)
- Објављени рад (K30)
- Уводно предавање (K40)
- Рад саопштен на скупу (K50)
- Дисертација (K60)
- Уџбеник
- Скрипта
- Приручник
- Практикум
- Остало (навести):

Извештај о Техничком решењу

Графички и други прилози дати су јасно? ДА

Да ли се дело може умножавати? ДА

Формуле и мерне јединице дате су јасно? ДА

Аутор треба да изврши:
скраћење - допуне - измене (у мишљењу навести шта)-

Резиме написан не примењује се



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

Датум: :

ИЗВЕШТАЈ О РЕЦЕНЗИЈИ

Страна /
укупно страна: 1/2

Став рецензента*:

У Извештају о Техничком решењу је приказан софтвер за прорачун електричног и магнетског поља надземних енергетских водова у равни нормалној на правац простирања проводника. Одређивање мерне несигурности прорачуна је базирано на Монте Карло методи. При томе је процена мерне несигурности одређена за најкраћи интервал покривања за вероватноћу покривања 95%.

Свакој улазној величини у програму додељена је функција густине вероватноће, а свакој функцији густине вероватноће одговарајућа расподела. Тамо где расподела није позната, додељена је униформна расподела. Након прорачуна добијена је функција густине вероватноће излазне величине за интервал покривања који одговара вероватноћи покривања 95%. Степен апроксимације зависи од облика функције вероватноће излазне величине. За велики број узорака, нпр. милион, за добијени интервал покривања се може очекивати да има једну или две значајне децималне цифре.

У Извештају је приказано више тест примера. Између осталог, разматран је двосистемски надземни енергетски вод за који је илустрован прорачун мерне несигурности. Такође је показано како Монте Карло метода може да пружи информацију о коефицијентима осетљивости модела.

Резиме (од 200 до 400 словних места)*:

На основу приложене документације, мишљења сам да „Примена Монте Карло методе за процену мерне несигурности прорачуна електричног и магнетског поља надземних и подземних водова“ аутора др Анамарије Јухас, мр Миодрага Милутинова и проф. др Неде Пекарић Нађ треба да се прихвати као ново техничко решење, у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Службени гласник РС“, број 38/2008), и класификује као резултат „М85 Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми“.

Кључне речи*:

Мерна несигурност, Монте Карло метода, прорачун електричног и магнетског поља

Напомене:

* У недостатку простора, користити додатне странице!

** Другу страну извештаја испуњава сваки рецензент посебно

Рецензент

Др. Мила Стојаковић, ред. Проф. ФТН



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2012-12-28

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 3 редовној седници одржаној дана 26.12.2012. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 14.1.5. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње / верификација нових техничких решења

Одлука

На основу позитивног извештаја рецензената прихвата се
техничко решење – (M85) под називом:

**ПРИМЕНА МОНТЕ КАРЛО МЕТОДЕ ЗА ПРОЦЕНУ МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ
ПРОРАЧУНА ЕЛЕКТРИЧНОГ И МАГНЕТСКОГ ПОЉА НАДЗЕМНИХ И
ПОДЗЕМНИХ ВОДОВА**

Аутори техничког решења: доцент др Анамарија Јухас, др Миодраг Милутинов, проф. др Неда Пекерић-Нађ.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Виле Дорословачки