



Matematičko modelovanje Elektromagnetnog polja na elektrificiranim prugama "Železnice Srbije"

Dr Branislav S. Gavrilović, Visoka Železnička Škola Strukovnih Sudija, Zdravka Čelara 14, Beograd, +381643370571, gavrilovicbrislav5@gmail.com

Dr Marko Vasiljević, Saobraćajni Fakultet u Doboju, Vojvode Mišića 52, Doboju, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, +38765513249, drmarkovasiljevic@gmail.com

Mr Duško Tešanović, Visoka Železnička Škola Strukovnih Sudija, Zdravka Čelara 14, Beograd, +38163212185, tesanovic.dusko@yahoo.com

Sažetak: U radu je definisano električno i magnetno polje u prostoru oko stabilnih postrojenja električne vuče "Železnice Srbije". Navedene su propisane granične vrednosti polja u ovom prostoru. Uopšteno je opisan elektrovoćni system 25 kV, 50 Hz "Železnice Srbije" sa svim bitnim delovima: elektrovoćnim podstanicama, kontaktnom mrežom, postrojenjima za sekcionisanje i železnićkim šinama kao povratnim vodom kontaktne mreže. Prezentovan je model za proraćun elektrićnog i magnetnog polja na jednokolosijećnoj otvorenoj pruzi i u neposrednoj blizini stabilnih postrojenja elektrićne vuće. Uporednom analizom dobijenih rezultata ustanovljeno je da u maksimalne moguće vrednosti intenziteta elektrićnog polja i intenziteta magnetne indukcije u prostoru oko voćnih vodova postrojenja za sekcionisanje kontaktne mreže manje od referentnih nivoa prema ICNIRP preporukama.

Ključne reći: elektrovoćni sistem "Železnice Srbije", elektromagnetno polje.

MATHEMATICS MOULDING OF ELECTROMAGNETIC FIELD UNDER THE ELECTRIC OVERHEAD SYSTEM OF "SERBIEN RAILWAYS"

Abstract: Railway network section switchgear and rolling conductors of overhead system as an elements of railway traction system 25 hV, 50 Hz, are a stationary source of electromagnetic fields for witch legislat on provides mandatory control of field's level. Function of railway network section switchgears is partition of railway network in sections which are loaded radially from different traction substation. In this paper, protective legislation is described including marginal levels of electric and magnetic field in vicinity of electro energetic facilities. In order to estimate if the values of fields in the environment exceed the prescribed limits of Regulation, it is necessary to calculate the value of the field. For that purpose software EFC-400 Release V5.3 is used. Basic design of railway overhead system is represented with overall geometry and the results are obtained by three-dimensional analysis. Results of analysis are compared with the values in regulation to assess the impact of electric and magnetic felds to environment.

Keywords: electric-traction system "Serbian Railways", electromagnetic field.



1. UVOD

U ovom radu je analiziran elektrovučni sisetem 25 kV, 50 Hz "Železnice Srbije" kao izvor elektromagnetnog polja. Cilj ovoga rada je bio da se uspostavi odgovarajući matematički modela za izračunavanje nivoa elektromagnetnog polja u karakterističnim tačkama sistema kako bi se uporedile sa sa dozvoljenim, ali i sa već postojećim izmerenim vrednostima. Ovaj cilj je proistekao iz činjenice što se mogući nivoi elektromagnetnog polja u ovom elektrovučnom sistemu nisu mogla izmeriti zbog složenosti problema, ali i zbog toga što su već neka dosadašnja merenja ukazivala na nedozvoljeno visoke vrednosti elektromagnetnog polja propisane u Republici Srbiji i prostoru Evropske Unije [1, 2, 3].

2. OSNOVNI POJMOVI O ELEKTROMAGNETNOM POLJU

Uobičajeno je da se elektromagnetno polje definiše preko svoje posledice, tj. sile kojom deluje na naelektrisanja. Dakle, kažemo da u nekom prostoru postoji elektromagnetno polje, ako na malu naelektrisanu česticu, naelektrisanja ΔQ , koja se u tom prostoru kreće brzinom $\vec{v}$ deluje tkz. Lorencova sila:

$$\vec{F} = \Delta Q \cdot \vec{E} + \Delta Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

Naelektrisanje ΔQ u ovom slučaju, ne mora da postoji da bi postojalo polje; ono služi samo za detekciju polja. Polje, prouzrokovano nekim drugim izvorom, postoji nezavisno od tog naelektrisanja.

Gornji izraz je istovremeno i osnovni izraz za silu kojom elektromagnetno polje deluje na neko naelektrisanje. Iz njega se vidi i da električno polje deluje i na nepokretna i na pokretna naelektrisanja, dok magnetno polje deluje samo na pokretna naelektrisanja. Vidi se i da je sila kojom električno polje deluje na česticu u smeru vektora $\vec{E}$, što znači da električno polje dodaje naelektrisanju kinetičku energiju, ubrzava ga, dok je magnetna sila normalna na vektor $\vec{B}$, tako da ne može da ubrzava naelektrisanje, već samo teži da promeni pravac njegovog kretanja.

Vektor jačine el. polja $\vec{E}$ [V/m] i vektor magnetne indukcije $\vec{B}$ [T] su osnovni vektori koji kvantitativno opisuju bilo koje elektromagnetsko polje.

Da li postoji samo električno polje, definisano vektorom jačine električnog polja $\vec{E}$ ili samo magnetno polje, definisano vektorom magnetske indukcije $\vec{B}$ ili i jedno i drugo, zavisi od izvora koji stvaraju to polje.

Ako su poznati izvori elektromagnetnog polja, zapreminska gustina naelektrisanja, ρ i vektor gustine struje, $\vec{J}$, i ako se usvoje oznake prikazane na sl. 1., vektor jačine električnog polja i vektor magnetne indukcije, u vakuumu, dati sledećim izrazima:

$$\vec{E} = \vec{E}\left(\vec{r}, t - \frac{R}{c_0}\right) = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \int_{V'} \frac{\rho\left(\vec{r}', t - \frac{R}{c_0}\right) \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{R^3} dv' - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \int_{V'} \frac{\vec{J}\left(\vec{r}', t - \frac{R}{c_0}\right)}{R} dv' \quad (2)$$

$$\vec{B}\left(\vec{r}, t - \frac{R}{c_0}\right) = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \int_{V'} \frac{\vec{J}\left(\vec{r}', t - \frac{R}{c_0}\right) \times (\vec{r} - \vec{r}')}{R^3} dv' \quad (3)$$

U gornjim izrazima je:

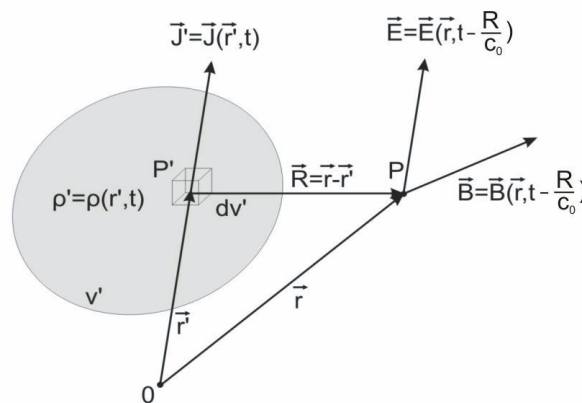
ϵ_0 – **permitivnos** (dielektrična konstanta) **vakuuma**, $\epsilon_0 = (8,85419 \pm 0,00002) \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$,

μ_0 – **permeabilnost vakuuma**, koja iznosi, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$,

c_0 – brzina prostiranja svetlosti u vakuumu, $c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = (2,997924 \pm 0,000003) \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

Iz gornjih izraza može da se uoči još jedna, vrlo značajna pojava, koja se naziva **efekat kašnjenja**. Zbog konačne brzine uspostavljanja elektromagnetnog polja, iz prethodnih izraza se vidi da su vektori polja definisani u tački P, u nekom trenutku t , prouzrokovani su delovanjem izvora u tački P' ne u tom trenutku, već u nekom ranijem trenutku, $t - \frac{R}{c_0}$.

Kao i ostale pojave u prirodi, elektromagnetna polja mogu da budu **vremenski konstantna** ili **vremenski promenljiva**. Proučavanje jednih i drugih se bitno razlikuje.



Slika 1: Položaj izvora i položaj tačke u kojoj se određuje elektromagnetno polje

Ako se izvori koji stvaraju elektromagnetno polje ne menjaju u vremenu, govorimo o vremenski konstantnim poljima. Karakteristično za sva vremenski konstantna elektromagnetna polja je da, u svim slučajevima, može posebno da se posmatra električno, a posebno magnetno polje. U slučaju kada se makroskopska naelektrisanja ne kreću, ona stvaraju elektrostatičko polje, pri čemu magnetno polje ne postoji. Kada se makroskopska naelektrisanja uniformno kreću, formirajući vremenski konstantnu struju, na osnovu prirodnih konstanti može da se pokaže da je uticaj magnetnog polja (drugi sabirak Lorencove sile)



mnogo manji od uticaja električnog polja (prvi sabirak Lorencove sile), na osnovu čega može da se zanemari uticaj vremenski konstantnog magnetnog polja na raspodelu vremenski konstantne struje. Iz toga sledi da i u tom slučaju električno polje može da se posmatra nezavisno od magnetnog polja. Vremenski konstanto električno polje je uvek konzervativno, potencijalno, odnosno,

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (4)$$

Sasvim druga situacija je kada se izvori menjaju u vremenu. Zbog pojave elektromagnetske indukcije, vektor $\vec{E}$ dobija i vrtložnu komponentu, prouzrokovanu vremenski promenljivim magnetnim poljem, a i magnetno polje može da nastane kao posledica vremenski promenljivog električnog polja. Zbog toga električno i magnetno polje ne mogu da se posmatraju nezavisno jedno od drugog i predstavljaju samo komponentne jedinstvenog elektromagnetskog polja. Obično se kaže da je vremenski promenljivo električno polje uvek praćeno vremenski promenljivim magnetnim polje i obrnuto.

Uobičajeno je da se vremenski promenljivo elektromagnetsko polje deli na dve podgrupe, u zavisnosti od toga da li već pomenuto kašnjenje elektromagnetnog polja može ili ne može da se zanemari. Ako kašnjenje može da se zanemari, govori se o **sporopromenljivom** elektromagnetnom polju, **kvazistatičnom** ili **kvazistacionarnom** elektromagnetskom polju, dok se u drugom slučaju definiše **brzopromenljivo** elektromagnetsko polje, odnosno, **elektromagnetski talasi**.

Elektromagnetna polja u elektrovučnom sistemu 25 kV, 50 Hz se može smatrati da su kvazistacionarna elektromagnetna polja odnosno kvazistacionarni talasi koji se nalaze u megametarskom talasnom opsegu (50 do 300 Hz). Ova konstatacija posledica je činjenica što su izvori elektromagnetnog polja zapravo struje u elektro vučnom sistemu (struja vuče) koje su po pravilu složeno periodične veličine. Složeno periodična struja vuče u elektrovučnom sistemu "Železnice Srbije" sa elektrovučnim vozilima (ŽS 441, ŽS 444, ŽS 461, i EMV ŽS 412/416) pored osnovnog harmonika (50 Hz) sadrže i više uticajne harmonike koje ne prelaze navedeni frekventni opseg [3]. Zbog mogućnosti zanemarenja efekta kašnjenja u generisanju elektromagnetnog polja u elektrovučnom sistemu 25 kV, 50 Hz "Železnice Srbije" u daljem tekstu analiziraće se električno i magnetno polje nezavisno jedno od drugog.



2.1. ELEKTRIČNO POLJE

Električno se polje kroz strujne provodnike se često računa i kao negativni gradijent skalarnog potencijala $\varphi(x, y, z)$ [8]:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\vec{\nabla}\varphi(\vec{r}) \quad (5)$$

gde je:

$$\vec{\nabla} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Tako na primer, potencijal u proizvoljnoj tački $P(x_P, y_P, z_P)$ koji potiče od ukupnog linijskog naelektrisanja Q_i smešten na dužini L_i provodnika smešten duž x-ose može se odrediti na osnovu sledećeg izraza :

$$\varphi(x_P, y_P, z_P, t) = \frac{Q_i}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln \frac{x_P + \sqrt{x_P^2 + y_P^2 + z_P^2}}{(x_P - L_i) + \sqrt{(x_P - L_i)^2 + y_P^2 + z_P^2}} \quad (7)$$

gde je:

Q_i - ukupna količina naelektrisanja na posmatranoj dužini L_i provodnika;

L_i - dužina provodnika,

ε_0 - dielektrična konstanta vakuuma.

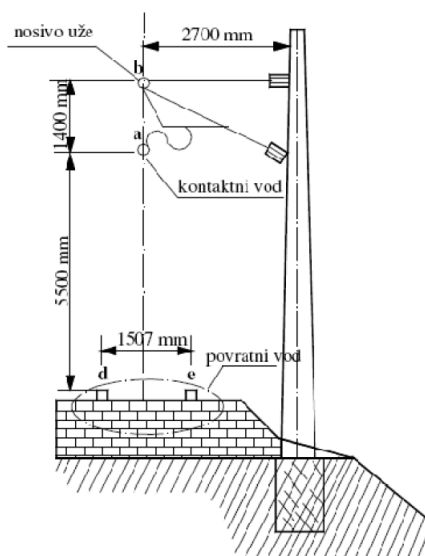
Definisanjem potencijala u svim tačkama prostora oko strujnog provodnika na osnovu izraza (7), električno polje se se lako određuje primenom izraza (5).

Na osnovu opisanog matematičkog modela pristupilo se proračunu električnog polja na jednokolosečnoj pruzi u prostoru oko voznog voda u četiri raspona kontaktne mreže BzII (slika 2) i u neposrednoj blizini postrojenja za sekcionisanje sa neutralnim vodom – PSN (slika 3).

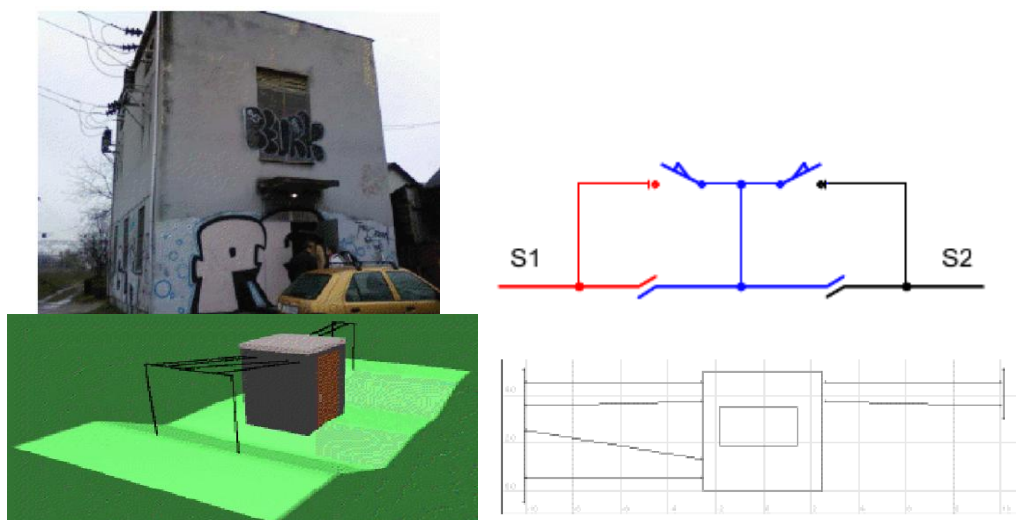
Kako bi se sproveo proračun električnog polja u analiziranom prostoru bilo je nužno utvrditi naponske i strujne prilike voznog voda kontaktne mreže prema geometriskom rasporedu kao na slici 2 kao i prilike spojnih vodova za konkretnu konfiguraciju postrojenja za sekcionisanje (PSN). U ovom radu analizirana je konfiguracija terena i raspored spojnih vodova PSN Košutnjak koji se nalazi u Beogradskom železničkom čvoru. Prema slici 3 vidi se da u postrojenje ulazi šest spojnih vodova. Koordinate početaka i završetaka spojnih vodova kod ovog PSN date su u tabeli 1.

Tabela 1: Položaj spojnih vodova u PSN Košutnjak [m]

vod	x_p	y_p	z_p	x_k	y_k	z_k
1	-10	4,5	7	-3	4,5	6
2	-10	3,5	7	-3	3,7	6
3	-10	2,5	7	-3	1,3	6
4	-10	0,5	7	-3	0,5	6
5	3	4,5	6	10	4,5	7
6	3	3,7	6	10	3,5	7



Slika 2: Poprečni presek jednokolosijske otvorene pruge



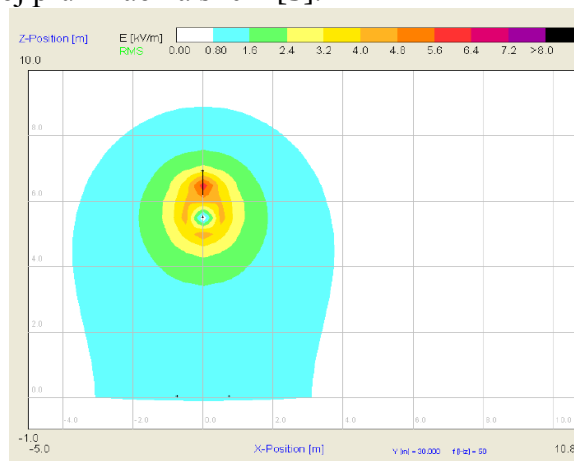
Slika 3: Postrojenje za sekcionisanje sa neutralnim vodom (PSN) Košutnjak, a) izgled, b) principijelna šema, c) 3D prikaz d) 2D prikaz spojnih vodova

Naponske prilike na voznom vodu kontaktne mreže i spojnih vodova EVP su relativno stabilne. Naime, za kretanje elektrovoćnih vozila potrebno je osigurati napajanje naponom

koji neće znatno odstupati od nazivne vrednosti. U elektrovučnom sistemu 25 kV, 50 Hz dopušteni pogonski napon je 19 kV dok napon ni u jednom trenutku ne sme pasti ispod 17.5 kV [9]. Sa druge strane, kako bi se osiguralo što bolje naponske prilike odnosno smanjio uticaj pada napona na kontaktnom vodu, napon na sabirnicama u elektrovučnim podstanicama je nešto viši od nazivnog. U cilju dobijanja mogućih ekstremnih vrednosti električnog polja u analiziranom prostoru u ovome radu pretpostavljen je napon voznog voda od $U = 26,5 \text{ kV}$.

Električna struja kroz vozni vod kontaktne mreže i spojnih vodova EVP nije stalna. Čak šta više, njezina vrednost se menja iz trenutka u trenutak u zavisnosti od broja i trenutnog položaja vozova u odnosu na elektrovučnu podstanicu. Pri izračunavanju ekstremnih vrednosti električnog polja od posebnog interesa je bilo odrediti maksimalnu vrednost struje vuče kroz vozni vod kontaktne mreže. S obzirom da je vozni vod kontaktne mreže obrazovan od bakarnog kontaktnog provodnika (preseka 100 mm^2) i nosivog užeta (preseka $65,8 \text{ mm}^2$), a na osnovu njihovih poznatih impedansi pristupilo se i definisanju maksimalnih vrednosti kroz ove provodnike. Naime na osnovi poznatih impedansi kontaktnog provodnika i nosivog užeta proizlazi da 60% struje prolazi kroz kontaktni provodnik, a 40% kroz nosivo uže. Budući da je za bakarne provodnike voznog voda kod maksimalne radne temperature od 80°C dopušteno strujno opterećenje 4 A/mm^2 , usvojene su za proračun u ovom radu nazivne struje kontaktnog provodnika i nosivog užeta od 400 A odnosno 260 A respektivno [3]. Treba napomenuti da iako su moguće ovako velike vrednosti struje kroz vozni vod iste se jako retko postižu.

Na osnovu opisanog matematičkog modela i uz primenu programskog paketa EFC-400 Release V5.3. dobijena je raspodela električnog polja u prostoru oko voznog voda kontaktne mreže na jednokolosečnoj pruzi kao na slici 4[3].

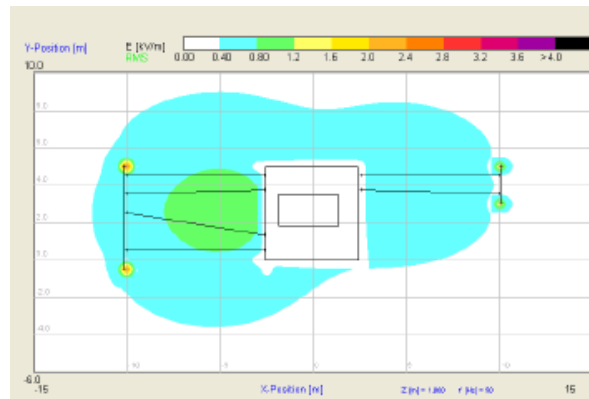


Slika 4: Raspodela električnog polja oko voznog voda na jednokolosečnoj pruzi

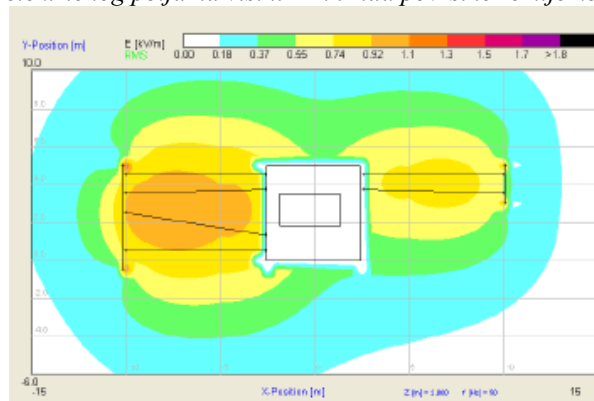
Sa slike 4 se može uočiti da je najviša vrijednost električnog polja u blizini voznog voda ne prelazi vrednost 2 kV/m . Na visini 1.5 m iznad visine zemlje električno polje ne prelazi vrednost 1.5 kV/m , a kritična vrednost od 2 kV/m dostiže se na visini 4.35 m.

Električno polje u prostoru oko PSN Košutnjak izračunato je na visini 1 i 2 metra iznad površine zemlje. Prva je visina odabrana kao standardna za proračune ovog tipa, dok je druga visina odabrana kao pretpostavka najveće visine gde bi mogli boraviti ljudi. Rezultati su dati na slici 5 i 6.

Najveća proračunata vrednost električnog polja 1m iznad površine zemlje je oko 0,9 kV/m i postiže se u prostoru na krajevima konzole i nosača konzole. Ono je rezultat međudelovanja metalnih masa i linija sila električnog polja. Međutim ovo područje je prostorno veoma ograničeno i nalazi se uz same železničke šine. Jačina električnog polja 2m iznad površine zemlje dostiže vrednost 1,2 kV/m i javlja se na uskom prostoru oko nosećeg stuba preko čijih konzola su kontakti vodovi povezani sa postrojenjem za sekcionisanje. Kako je zgrada PSN Košutnjak obložena metalom u njoj nema delovanja električnog polja.



Slika 5: Jačina električnog polja na visini 1 m iznad površine zemlje kod PSN Košutnjak



Slika 6: Jačina električnog polja na visini 2 m iznad površine zemlje kod PSN Košutnjak

2.2. MAGNETNO POLJE

Magnetno polje u prostoru oko voznog i povratnog voda kontaktne mreže kroz koje protiče struja vuče može se izračunati na osnovu Bio—Savardovog zakona i metode superpozicije doprinosa svih delova na koji su podeljeni posmatrani vodovi. Svaki infinitezimalni deo doprinosi ukupnom polju u proizvoljnoj tački P prema izrazu:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I(t)}{4 \cdot \pi \cdot r^3} (d\vec{l} \times \vec{r}) \quad (8)$$

gde je:

$I(t)$ – struja koja prolazi kroz elementarnu dužinu provodnika,

$d\vec{l}$ – vektor dužine elementarne dužine provodnika,

$\vec{r}$ – vektor položaja posmatrane tačke P.

Ako se pretpostavi da je pravoliniski provodnik dužine L_i u pravcu i smeru x -ose, tada je njegov doprinos magnetnom polju u tački $P(x_P, y_P, z_P)$:

$$|\vec{B}_i(t)| = \frac{\mu_0 \cdot I(t)}{4 \cdot \pi \cdot} \left[\frac{L_i - x_P}{\sqrt{(L_i - x_P)^2 + r^2}} + \frac{x_P}{\sqrt{x_P^2 + r^2}} \right] \quad (9)$$

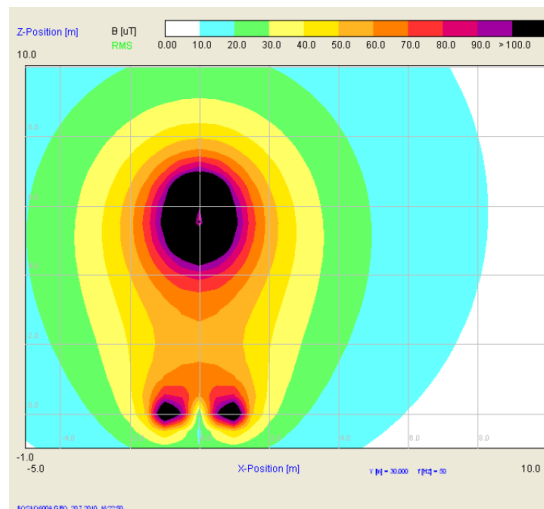
Sa komponentama:

$$B_{xi}(t) = 0$$

$$B_{yi}(t) = -\frac{z_P}{\sqrt{y_P^2 + z_P^2}} |\vec{B}_i(t)| \quad (10)$$

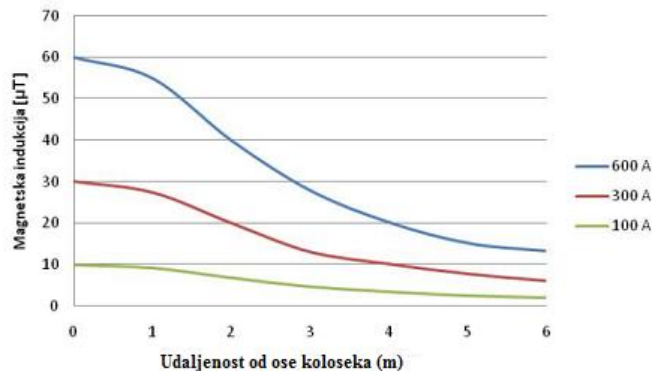
$$B_{zi}(t) = -\frac{y_P}{\sqrt{y_P^2 + z_P^2}} |\vec{B}_i(t)|$$

Na osnovu izraza (9) i (10) može se zapaziti da je zavisnost od veličine struje vuče, koja se stalno menja, čini proračun magnetne indukcije složenijim od proračuna električnog polja. Na slici 7 prikazana je raspodela magnetne indukcije u okolini kontaktne mreže na otvorenoj jednokolosečnoj pruzi za struju vuče od 600 A. Ta vrednosti struja vuče izabrana je kao kao maksimalno dozvoljena vrednost struje u voznom vodu. Na visini 1.5 m iznad šine i u osi koloseka vrednost magnetne indukcije iznosi 59.96 μT .



Slika 7: Raspodela magnetne indukcije oko voznog voda kontaktne mreže na jednokolosečnoj pruzi pri struji vuče od 600 A

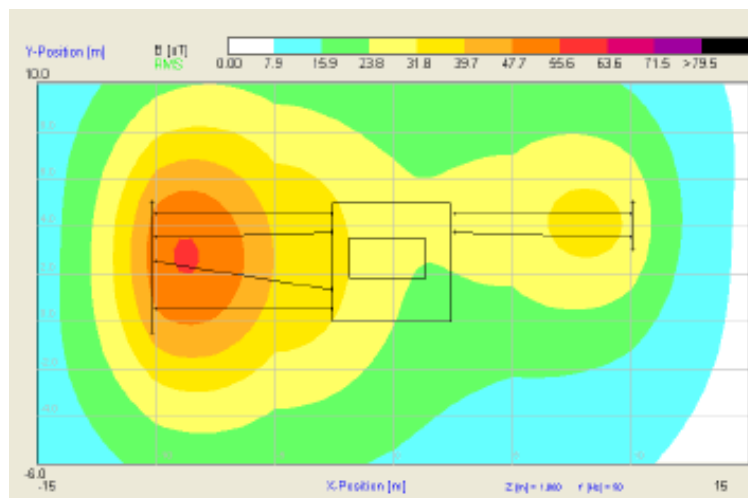
Promena magnetne indukcija za različite vrednosti struja vuče na visini 1.5 m iznad železničkih šina u pružnom pojasu do 6 m od ose koloseka grafički je prikazana na slici 8.



Slika 8: Promena magnetne indukcije na visini 1.5 m iznad željezničkih šina u pružnom pojasu do 6 m od ose koloseka

Kada je reč o magnetnom polju u prostoru oko PSN Lastra treba istaći da u redovnom pogonu kroz spojne vodove ne teče struja pa prema tome nema ni magnetnog polja. Ipak u spojnim vodovima može teći struja i ako se računa da je ona 600 A prostorna raspodela magnetne indukcije na visini iznad površini zemlje od 1 m prikazana je na slici 9.

Na osnovu rezultata sa slike 9 može se zaključiti da magnetno polje manje od $75 \mu T$, a da se ova vrednost kreće u vrlo uskom području u kome ne borave ljudi.



Slika 9: Raspodela magnetne indukcije na visini 1m oko EVP Lastra pri struji vuče od 600 A

2.3. PROVERA DOBIJENIH REZULTATA

Na elektrificiranim prugama "Železnice Srbije" do sada nisu izvršena odgovarajuća merenja električnog i magnetnog polja na jednokolosečnim elektrificiranim prugama. Međutim, "Hrvatske železnice" na svojim elektrificiranim prugama su već obavila neka merenja [4]. S obzirom da se radi o istoj konfiguraciji i tehničkim karakteristikama kontaktne mreže (sl. 2) merenja električnog i magnetnog polja koja su izvršena na mestima koja su prikazana na slici 10 prema IEC 61786 standardu (tačke A, B, C, D i E), mogu poslužiti i za donošenje odgovarajućih zaključaka i za izračunate elektromagnetne prilike na jednokolosečnim prugama "Železnice Srbije".



Slika 10: Položaj mernih tačaka električnog i magnetnog polja

U tabeli 2 dati su rezultati merenja električnog i magnetnog polja koji su izvršeni u tačkama A,B,C, D i E kontaktne mreže na jednokolosečnoj pruzi kao na sl.10.

Tabela 2: Izmjerene i izračunate vrijednosti magnetske indukcije

Tačka	$I[A]$	$E [kV/m]$ - izmereno	Nazivni napon $[kV]$	$B[\mu T]$ - izmereno	$B[\mu T]$ - izračunato
A	200	1,27	25	12,0	13,2
B	60	1,55	25	5,9	6,3
C	95	1,70	25	6,3	9,5
D	100	0,80	25	5,1	5,0
E	220	1,02	25	7,2	11,5

Analizirajući vrednosti iz tabele 2 može se uočiti da se izmerene i izračunate vrednosti u tri slučaja gotovo potpuno podudaraju, dok se dve vrijednosti nešto razlikuju (u tačkama C i D). Razlika je posljedica nepreciznosti merenja struje vuče i činjenice da su ove struje složeno periodična funkcija vremena pa je izmerena magnetna indukcija sastavljena i od komponenata višeg reda dok se proračunom dobijala samo magnetna indukcija osnovne frekvencije [7]. Nezavisno od ovog ostupanja izmerenih i izračunatih vrednosti magnetne indukcije mogu se smatrati da rezultati opisanog proračuna daju zadovoljavajuću tačnost.

3. ZAKLJUČAK

Nacrt Zakona o zaštiti od nejonizujućih zračenja (Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, novembar 2005.) predviđa korišćenje peporuka Saveta Evrope od 12. jula 1999. o granicama izlaganja živih bića elektromagnetnim poljima (0 Hz do 300 Ghz) (1999/519/EC). U preporuci Saveta Evrope od 12. jula 1999. (ili u "ICNIRP guidelines") su navedeni dozvoljeni bezbedni referentni nivoi za intenzitete električnog i magnetnog polja odnosno magnetne indukcije kako za područje profesionalne izloženosti tako i za područje povećane osjetljivosti. Za područje profesionalne izloženosti poljima pogonske frekvencije od 50 Hz granične vrednosti su: $E = 5 kV/m$, $H = 80 A/m$ te $B = 100 \mu T$, odnosno $E = 2 kV/m$, $H =$



32 A / m te $B = 40 \mu T$ za područje povećane osjetljivosti. Date vrednosti se slažu i sa NHMRC (National Health and Medical Research Council, Australia) Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields (1989), ARPANSA Radiation health series No.30.

Uporednom analizom, proračunom i odgovarajućim merenjima, dobijenih rezultata može se zaključiti da su maksimalne moguće vrednosti intenziteta električnog polja i intenziteta magnetne indukcije **u prostoru oko voznog voda i postrojenja za sekcionisanje kontaktne mreže , manje od referentnih nivoa prema ICNIRP preporukama.**

Međutim bez obzira na ovako izveden zaključak, a s obzirom na činjenicu da do sada nisu dovoljno istraženi svi biološki mehanizmi po kome elektromagnetno polje utiče na povećanje rizika od nastanka obolenja železničkih radnika to je potrebno iste uspostaviti. Pri tome je jako vazno definisati i zakonski propisati dužinu izloženosti železničkih radnika uočenim intenzitetom elektromagnetnog polja, a koji bi se mogao smatrati potencijalno opasnim.

LITERATURA

1. Railway applications – Electromagnetic compatibility - Part 1: *General EN 50121-1:2006*
2. Railway applications – Electromagnetic compatibility - Part 2: *Emission of the whole railway system to the outside world EN 50121-2:2006*
3. Railway applications – Electromagnetic compatibility - Part 3-1: *Rolling stock - Train and complete vehicle EN 50121-3-1:2006*
4. HŽ: "Izveštaj sa izvršenog mjerenja električnog i magnetnog polja sprovedena na deonici pruge Dugo Selo-Križevci na stajalištu Repnice prema IEC 61786", jul, 2000. g., Zagreb.