

Ivo Uglešić  
[ivo.uglesic@fer.hr](mailto:ivo.uglesic@fer.hr)  
Milivoj Mandić  
[milivoj.mandic@fer.hr](mailto:milivoj.mandic@fer.hr)  
Viktor Milardić  
[viktor.milardic@fer.hr](mailto:viktor.milardic@fer.hr)

FER, Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb

## UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG POLJA KONTAKTNE MREŽE ELEKTRIFICIRANIH ŽELJEZNICA NA OKOLIŠ

### SAŽETAK

U članku je najprije data procjena (proračun) očekivane razine elektromagnetskih polja za izabrano tipsko rješenje kontaktne mreže pomoću računalnog programa EFC-400. Proračun je rađen za prostor oko tračnica otvorene pruge koji obuhvaća pružni pojas na visini od 1.5 m. Grafički je prikazana jakost električnog polja i gustoće magnetskog toka uzduž poprečnog presjeka Y (vodiči KM i tračnice su postavljene uzduž osi X).

Dobiveni rezultati su uspoređeni sa mjerenim rezultatima elektromagnetskog polja za isti tip kontaktne mreže.

Na kraju je dan zaključak da li su dobivene vrijednosti unutar dozvoljenih graničnih razina jakosti električnog i gustoće magnetskog toka propisanih *Pravilnikom* koji je stupio na snagu 30.12.2003. u Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** Kontaktna mreža (KM), jakost električnog polja, gustoća magnetskog toka.

## ELECTROMAGNETIC FIELD IMPACTS OF CONTACT LINE SYSTEMS BY ELECTRIC RAILWAY TRACTION ON THE ENVIRONMENT

### ABSTRACT

This article will give estimates (computation) expected levels of electromagnetic fields for the selected typical solution of the contact network with the computer program EFC-400. The computation will be work for the area around the track open railroad covering the belt on rails and at a height of 1.5 m. Graphic will be displayed strength of electric field and magnetic flux density along the cross section of Y (overhead contact system and rails are placed along the axis X).

The results will be compared with the measured results of electromagnetic fields for the same type of contact network.

At the end will give a conclusion whether the obtained values within the allowable limit the level of strength of electric and electric magnetic flux density prescribed by the *Regulations* which came into force on 30.12.2003. in Croatia.

**Key words:** Contact line systems, strength of electric field, magnetic flux density.

## 1. UVOD

Elektromagnetska polja su prisutna u svakodnevnom okruženju, uključujući radne i javne prostore. Prilikom pogona elektroenergetskih objekata potrebno je utvrditi da li vrijednosti EM polja pogonske frekvencije 50 Hz prelaze dopuštene vrijednosti. Suvremenim računalnim programima moguće je utvrditi vrijednosti EM polja u prostoru, pri čemu je važno poznavati podatke o elektroenergetskom objektu.

U Hrvatskoj je na snazi *Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja* (NN 204/03, 15/04, 41/08) [1], kojim se između ostaloga propisuju dozvoljeni iznosi električnih i magnetskih polja, koje emitiraju elektroenergetski i drugi električni objekti u okolinu. Prema zahtjevima *Pravilnika*, prilikom izgradnje i pogona elektroenergetskih objekata stacionarni izvori elektromagnetskog polja moraju imati valjano izvješće o mjerjenjima elektromagnetskog polja, kojim se potvrđuje da razine elektromagnetskih polja u okolini izvora, pri njegovom radu zadovoljavaju tražene uvjete.

Osim *Pravilnika* postoje i odgovarajuće HRN EN norme koje donose propise o emisiji cjelokupnog željezničkog sustava u vanjski svijet.

U članku se razrađuje problematika elektromagnetskih polja čiji izvor predstavljaju postrojenja kontaktne mreže. Provesti će se proračuni i mjerenja razine EM polja postrojenja kontaktne mreže HŽ Infrastruktura sustava 25 kV, 50 Hz. Navesti će se granične razine električnog i magnetskog polja koje propisuju te norme.

Proračuni elektromagnetskog polja provedeni su u trodimenzionalnom prostoru za sve navedene tipove konfiguracije KM pomoću softverskog paketa EFC-400. Kako bi se dobio što je moguće bolji uvid o promjenjivim vrijednostima struja, koje utječu na vrijednosti magnetskih polja, napravljen je elektrovučni proračun za maksimalni postojeći vozni red na razmatranoj dionici pruge. Tako su dobivene kratkotrajne maksimalne, ali i prosječne vrijednosti struja, koje su relevantne za ocjenu razine magnetskog polja u blizini kontaktne mreže. Na kraju će se dati usporedba rezultata EM polja dobivenih proračunima i mjerjenjima za isti tip kontaktne mreže.

## 2. IZVEDBA KONTAKTNE MREŽE HŽ INFRASTRUKTURE

Kontaktna mreža (KM) je dio stabilnih postrojenja električne vuče, koja služi za napajanje električnom energijom elektrovučnih vozila na elektrificiranim prugama.

KM je relativno složen i skup objekt. Najveći dio svih investicija za izgradnju stabilnih postrojenja se odnosi upravo na izgradnju kontaktne mreže. KM je postrojenje koje nema nikakvu rezervu u pogledu instalacija pa se zato ona mora pažljivo projektirati, izgraditi i održavati da bi njena eksploatacija bila kvalitetna. Sastoji se od voznog voda i povratnog voda.

Vozni vod je osnovni element kontaktne mreže postavljen iznad kolosijeka na određenoj visini i na stupovima pokraj pruge. Sastavljen je od kontaktnog vodiča i nosivog užeta spojenih paralelno i priključenih na elektrovučnu podstanicu (EVP).

Povratni vod čine tračnice, zemlja i spojni vod. Pruga može biti jednokolosječna ili dvokolosječna, a mogu se koristiti jedna ili obje tračnice u svrhu vođenja povratne vučne struje.

Specifičnost ovog prijenosa energije je u tome što u vođenju struje učešće imaju i okolni kolosijeci i zemljište, a zbog jakog elektromagnetskog i elektrostatskog djelovanja postoji opasnost od utjecaja na metalne konstrukcije i vodove (telekomunikacijske, niskonaponske i sl.) u blizini kontaktne mreže.

### 2.1. Osnovni tehnički podaci kontaktne mreže HŽ Infrastrukture

Osnovni tehnički podaci kontaktne mreže HŽ Infrastrukture sustava 25 kV, 50 Hz navedeni su u tablici I. Tablica I. pokazuje da ukupna duljina kontaktne mreže HŽ Infrastrukture iznosi 1618 km, a ukupna duljina elektrificiranih pruga 835 km. Izvedba kontaktne mreže HŽ Infrastrukture se može svesti na dva osnovna tipska rješenja:

- za otvorenu prugu,
- za kolodvore.

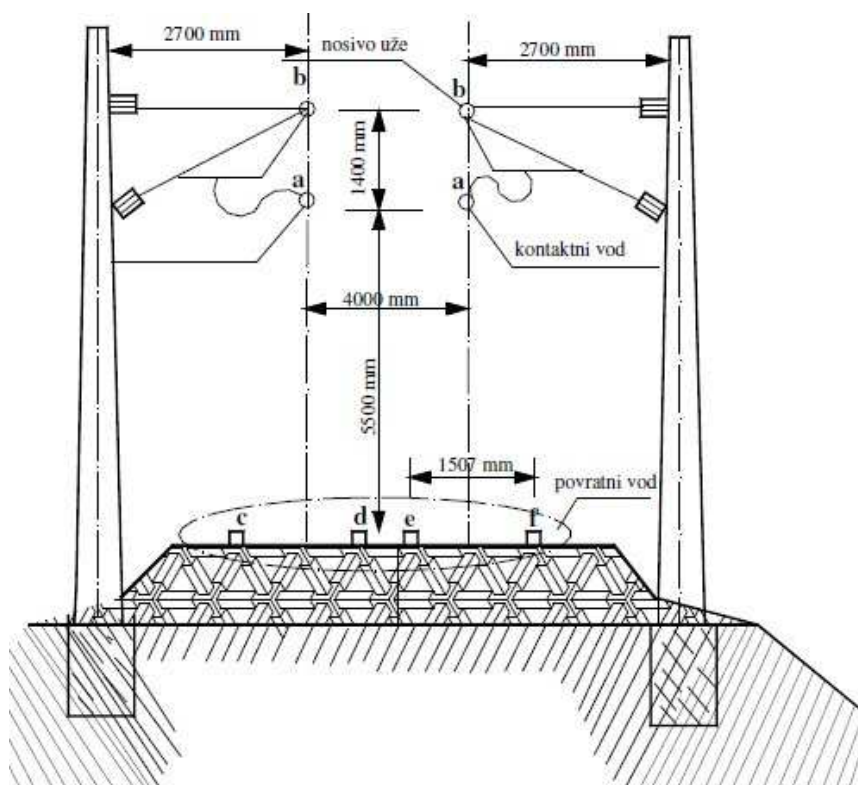
Tablica I. Osnovni tehnički podaci kontaktne mreže HŽ Infrastrukture

Podaci		Izmjenični sustav kontaktne mreže
Nazivni napon	[ $U_n$ (kV)]	25
Frekvencija	[ $f$ (Hz)]	50
Najviši trajni napon	[ $U_{max}$ (kV)]	27,5
Maksimalna struja	[ $I_{max}$ (A)]	650
Ukupna duljina elektrificiranih pruga	[km]	835
Ukupna duljina kontaktne mreže	[km]	1618
Visina voznog voda iznad tračnica	[m]	5,5
Pojava viših harmonika		Značajna i ovisna o vučnim vozilima

U nastavku će biti navedeno tipsko rješenje (konfiguracija) kontaktne mreže koje je karakteristično za otvorenu prugu.

### 2.1.1. Otvorena pruga

Otvorena pruga može biti: jednokolosječna, dvokolosječna, i manjim dijelom višekolosječna. Kolosijeci su paralelni i na konstantnom razmaku od 4 m između osi. Poprečni presjek ovog tipa kontaktne mreže za dvokolosiječnu prugu prikazan je na slici 1, a pri tome se vozni vod sastoji od kontaktnog vodiča nominalnog presjeka  $100 \text{ mm}^2$  i jednog nosivog užeta Bz II  $70 \text{ mm}^2$  nominalnog presjeka  $65,8 \text{ mm}^2$ .



Slika 1. Poprečni presjek kontaktne mreže dvokolosiječne otvorene pruge za izmjenični sustav napajanja 25 kV, 50 Hz.

### 3. PRORAČUN ELEKTROMAGNETSKOG POLJA ZA IZABRANO TIPSKO RJEŠENJE KONTAKTNE MREŽE

Suvremenim računalnim programima moguće je utvrditi vrijednosti EM polja u prostoru, pri čemu je važno poznavati podatke o elektroenergetskom objektu.

Proračuni magnetskog i električnog polja za izabrana tipska rješenja kontaktne mreže provest će se programskim paketom EFC-400 [1], koji omogućuje simulacije EM polja u trodimenzionalnom prostoru. Točnost rezultata proračuna povezana je s detaljnim prikazom vodiča i poznavanjem pogonskog stanja struje i napona.

#### 3.1. Ulazni podaci za proračun

Pored geometrije sustava prikazanog na slici 1. za proračun jakosti EM polja će se koristiti parametri KM 25 kV, 50 Hz dani u tablici II.

Na prugama hrvatskih željeznica 25 kV, 50 Hz uglavnom se upotrebljavaju nosiva užad BzII 70 od bronce nazivnog presjeka  $65 \text{ mm}^2$  (stvarni  $65,8 \text{ mm}^2$ ), polumjera 5,25 mm i djelatnog otpora  $0,42219 \Omega/\text{km}$ .

Na pruzi Zagreb - Moravice upotrebljava se nosivo uže od elektrolitskog bakra ECu 120 nazivnog presjeka  $120 \text{ mm}^2$ , polumjera 6,35 mm i djelatnog otpora  $0,153 \Omega/\text{km}$ .

Tablica II. Parametri KM 25 kV, 50 Hz s jednim kontaktnim vodičem i nosivim užetom BzII 70

Kontaktни vodič Ri 100 ili RiS 100	$R_k = 0,1759 \Omega/\text{km}$ $r_k = 6 \text{ mm}$ $S_k = 100 \text{ mm}^2$
Nosivo uže B <sub>z</sub> II 70	$R_u = 0,4222 \Omega/\text{km}$ $r_u = 5,25 \text{ mm}$ $S_u = 65,8 \text{ mm}^2$
Tračnica 60 E1 (UIC 60)	$O = 68,5 \text{ cm}$ $\rho_t = 0,22 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ $\mu_t = 250$
Međusobne udaljenosti elemenata	$S = 1,4 \text{ m}$ $A = 60 \text{ m}$ $D_k = 4 \text{ m}$ (otvorena pruga) $4,75 \text{ m}$ (kolodvor) $D_t = 1,435 \text{ m}$ $h = 5,5 \text{ m}$
Okolno zemljište	$\rho = (100 - 500) \Omega\text{m}$ $Y = (0,2 - 2) \text{ S/km}$

gdje je:

- A - raspon između dva susjedna stupa,
- $D_k$  - razmak između osi kolosijeka,
- $D_t$  - razmak između težišta tračnica,
- O - opseg poprečnog presjeka tračnice,
- $R_k$  - djelatni otpor kontaktnog vodiča,
- $R_u$  - djelatni otpor nosivog užeta,
- $R_z$  - djelatni otpor zemlje,
- S - sistemska visina,
- $S_k$  - poprečni presjek kontaktnog vodiča,
- $S_u$  - poprečni presjek nosivog užeta,
- h - visina kontaktnog vodiča od težišta tračnica,
- $r_k$  - polumjer presjeka kontaktnog vodiča,
- $r_u$  - polumjer presjeka nosivog užeta,
- $\mu_t$  - magnetska permeabilnost tračničkog čelika,
- $\rho$  - specifični otpor tla,
- $\rho_t$  - specifični djelatni otpor tračničkog čelika,
- Y - odvod tračnica.

Osim dimenzija KM-e, odvodnosti tračnica i specifičnog otpora tla za proračun elektromagnetskog polja je važno poznavati i pogonsko stanje, tj. pogonski napon kontaktne mreže i iznos struje koja teče voznim i povratnim vodom. Struja napojnog voda će se odrediti na osnovi maksimalnog voznog reda uz pomoć elektrovučnog proračuna.

U izmjeničnom sustavu raspodjela struja između pojedinih vodiča ovisi o međusobnom odnosu odgovarajućih impedancija vodiča i njihovih međusobnih impedancija. Raspodjela struja između pojedinih vodiča voznog voda osobito je bitna pri određivanju nazivne struje kontaktne mreže i pri proračunu zagrijavanja vodiča kontaktne mreže, gdje je potrebno znati koji je vodič opterećeniji.

Obje impedancije kontaktnog vodiča i nosivog užeta, su dominantno induktivne. Omjer struja koje teku pojedinim vodičima može se odrediti prema izrazu (1), [2].

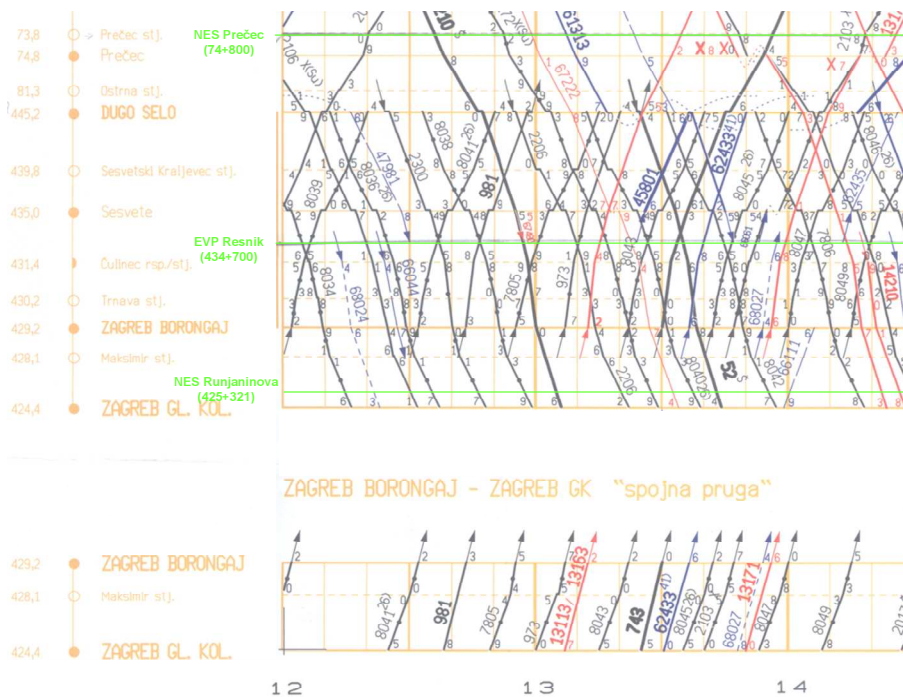
$$\frac{I_k}{I_u} = \frac{Z_u - Z_{ku}}{Z_k - Z_{ku}} \quad (1)$$

gdje je:

- $I_k$  – struja u kontaktnom vodiču,
- $I_u$  – struja u nosivom užetu,
- $Z_k$  – impedancija kontaktnog vodiča,
- $Z_u$  – impedancija nosivog užeta,
- $Z_{ku}$  – međusobna impedancija kontaktni vodič – nosivo uže.

Nazivna struja kontaktne mreže, za trajno opterećenje s novim kontaktnim vodičem, iznosi 650 A. Budući da je za bakrene vodiče voznog voda pri maksimalnoj radnoj temperaturi od 80°C dopušteno strujno opterećenje 4 A/mm<sup>2</sup>, dobije se da za kontaktni vodič Ri 100 nazivna struja iznosi 400 A, dok za BzII 70 ta struja iznosi 250 A

U nastavku će se odrediti jakost električnog polja i gustoća magnetskog toka, za gore navedenu karakterističnu konfiguracije kontaktne mreže dvokolosiječne pruge u prostoru oko tračnica koji obuhvaća pružni pojas [3] i na visini od 1,5 m. U razmatranje će se uzeti dionica dvokolosiječne pruge između neutralne sekcije (NES) Runjaninova i NES-a Prečec napajane iz elektrovučne podstanice (EVP) Resnik. Izvadak iz voznog reda s najvećim prometom, za ovu dionicu, se nalazi na slici 2, a u tablici III. je dan popis vlakova za promatrani vremenski period. Na slici se nalazi i stacionaža EVP-a Resnik, NES-a Prečec i NES-a Runjaninova [4].

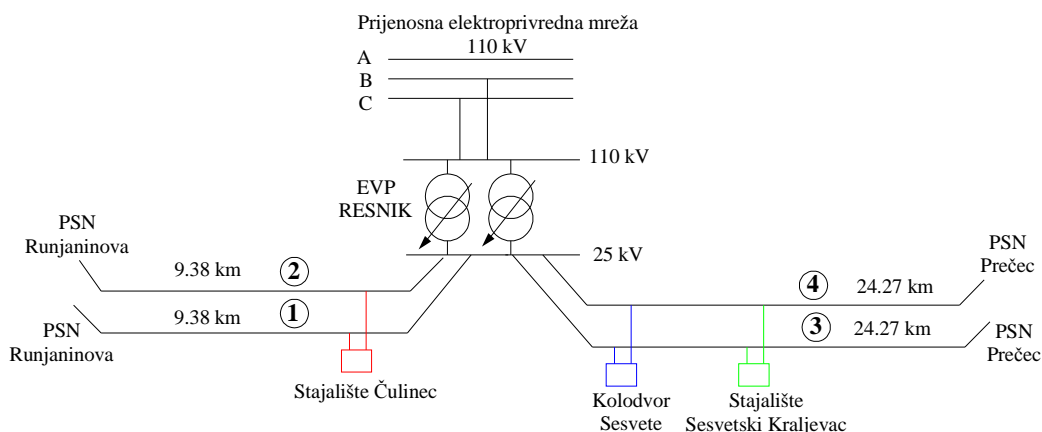


Slika 2. Izvadak iz voznog reda na dionici pruge Dugo Selo - Zagreb G. K.

Tablica III. Popis vlakova na dionici pruge Zagreb G. K. - Dugo Selo od 13h30 do 14h30

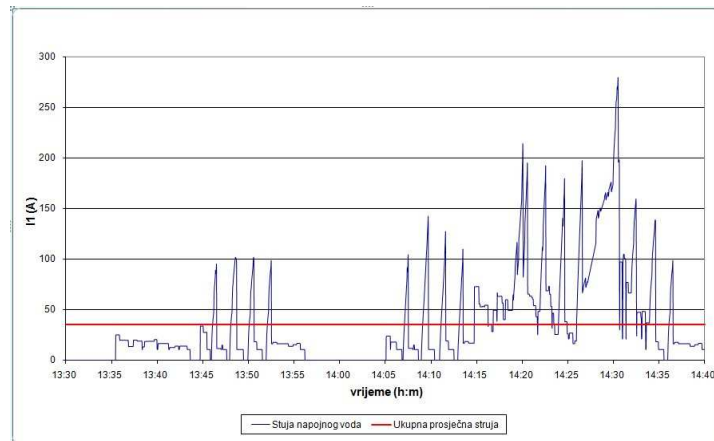
Vlak broj	Vučno vozilo	Broj vučnih vozila	Masa vlaka [t]	Vrsta vlaka	Napomena	
61313	1141	1	1300	teretni	vlak za želj. potrebe	Zagreb Gl. Kol. DOLAZAK
67222	1141	1	100	teretni		
13112	1141	1	700	putnički		
2014	1141	1	300	putnički		
1750	1141	1	300	putnički		
61049	1141	1	1000	teretni		
52	1141	1	200	putnički		
8042	6111	1	176	putnički		
7806	1141	1	200	putnički		
14210	1141	1	500	putnički		
63026	1141	1	1500	teretni		
8046	6111	1	176	putnički		
743	1141	1	500	putnički		
62433	1141	1	1719	teretni		
8045	6111	1	176	putnički		
2103	6111	1	176	putnički	vlak za želj. potrebe	
68027	1141	1	200	teretni		
13171	1141	1	1500	teretni		
8047	6111	1	176	putnički		
8049	6111	1	176	putnički		
2017	1141	1	300	putnički		
8051	6111	1	176	putnički		

U proračun elektromagnetskog polja će se uzeti prosječna struja pojedinog napojnog voda dobivena na osnovi elektrovučnog proračuna u vremenskom intervalu od 13:30 do 14:30. Krakovi redovnog napajanja EVP Resnik prikazani su na slici 3.

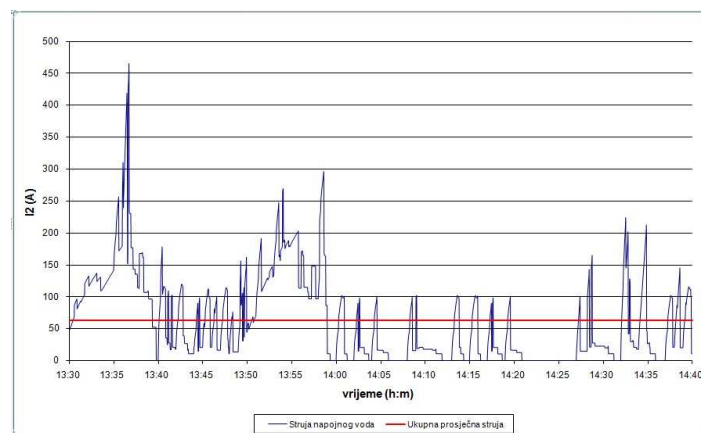


Slika 3. Krakovi redovnog napajanja EVP Resnik

Rezultati elektroenergetskog proračuna za struje (trenutne i prosječne) napojnih vodova EVP Resnik prema postrojenju za sekcioniranje (PSN) Runjaninova, koji napajaju dvokolosiječnu prugu na dionici Zagreb G. K. - Dugo Selo, se nalaze na slici 4. i slici 5.



Slika 4. Struja napojnog voda EVP Resnik u smjeru PSN Runjaninova\_1 i prosječna struja (35,30 A)



Slika 5. Struja napojnog voda EVP Resnik u smjeru PSN Runjaninova\_2 i prosječna struja (63,29 A)

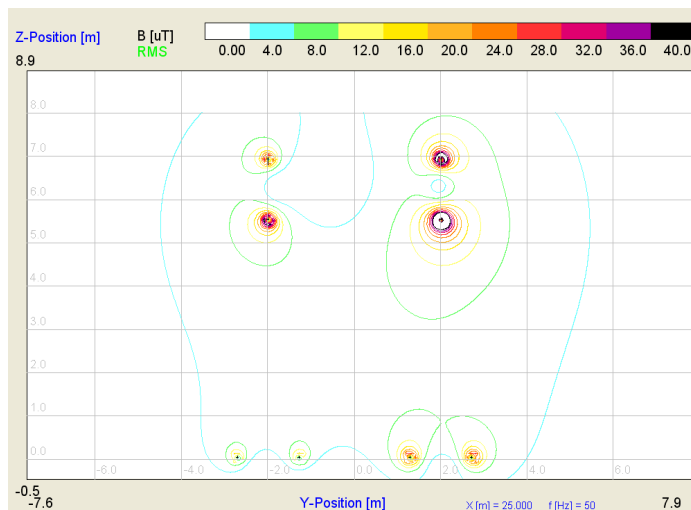
Na osnovi dobivenih rezultata elektrovučnog proračuna, prosječne struje pojedinog napojnog voda dvokolosiječne pruge za konfiguraciju prikazanu u tablici II i za navedeni vozni red (slika 3) iznose od 35 do 70 A [4].

### 3.2. Rezultati proračuna magnetske indukcije i jakosti električnog polja

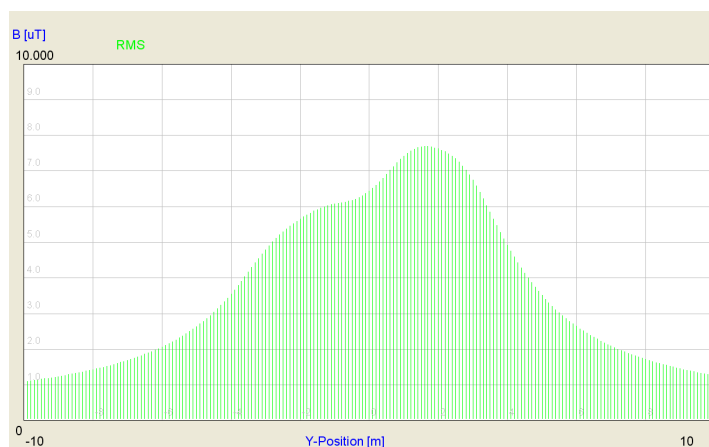
U nastavku će se prikazati rezultati proračuna za dvokolosiječnu prugu kontaktne mreže. Poprečni presjek ovog tipa kontaktne mreže je prikazan na slici 1, a parametri su dani u tablici II. U proračunima su uzete prosječne struje napojnih vodova dvokolosiječne pruge dobivene elektrovučnim proračunom.

Za proračun gustoće magnetskog toka je bitan iznos struje koja teče voznim vodom. Zbog dinamičnosti tereta elektrovučnog sustava ta struja je jako promjenjivog karaktera pa se za proračun uzima srednja 15 minutna struja napojnog voda dobivena iz maksimalnog voznog reda.

Na slikama 6. i 7. prikazana je gustoća magnetskog polja u poprečnom presjeku YZ i po osi Y na kraju prvog raspona (vodiči kontaktne mreže i tračnice su postavljene uzduž osi X), za dvokolosiječnu prugu uz struju napojnih vodova prema NES Runjaninova od 65 A i 35 A.



Slika 6. Gustoća magnetskog toka uzduž YZ presjeka na kraju prvog raspona KM-e (krivulje crne boje su granične vrijednosti od 40  $\mu\text{T}$ )



Slika 7. Gustoća magnetskog toka uzduž Y-osi kontaktne mreže na visini 1,5 m dvokolosječne pruge za struje napojnih vodova 65 A i 35 A

Sa slika 6. i 7. je vidljivo da su najveće vrijednosti gustoće magnetskog toka između i u neposrednoj blizini kolosijeka. Najveća vrijednost gustoće magnetskog toka izvan pružnog pojasa je manja od 1,5  $\mu\text{T}$ , a dopuštena granica za područje povećane osjetljivosti je 40  $\mu\text{T}$ .

Vršne vrijednosti gustoće magnetskog toka uzduž poprečnog presjeka kontaktne mreže, u osi kolosijeka i na udaljenosti 8 m od osi krajnjeg kolosijeka (granica pružnog pojasa), dobivene za prosječne struje napojnih vodova prema PSN Runjaninova i PSN Prečec nalaze se u tablici IV.

Tablica IV. Vrijednosti gustoće magnetskog toka u osi kolosijeka i na udaljenosti 8 m od osi krajnjeg kolosijeka napojnih vodova prema NES Runjaninova i NES Prečec

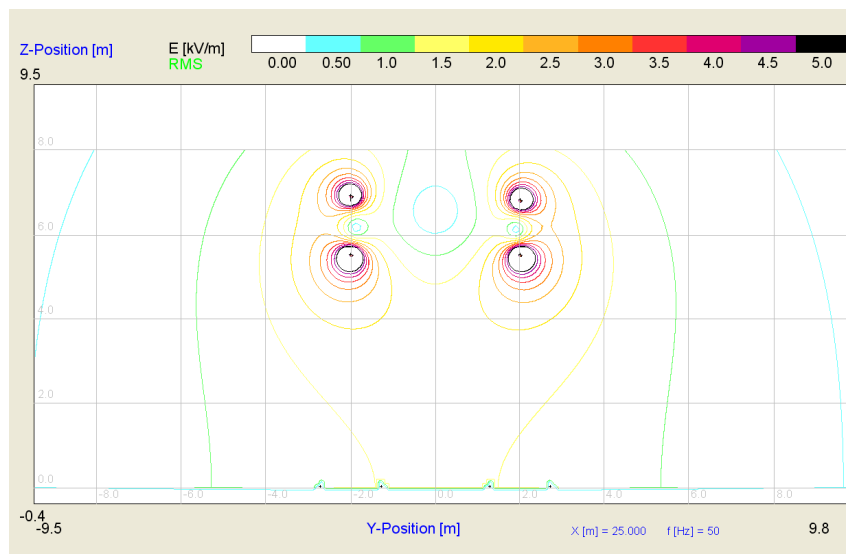
Struje i smjer pojedinog napojnog voda	65 A 35 A (PSN Runjaninova)	70 A 60 A (PSN Prečec)
Gustoća magnetskog toka u osi jednog od kolosijeka na visini 1,5 m [ $\mu\text{T}$ ]	7,5	9
Gustoća magnetskog toka 8 m od vanjske tračnice krajnjeg kolosijeka na visini 1,5 m [ $\mu\text{T}$ ]	1,5	2

Rezultati u tablici IV pokazuju značajno opadanje gustoće magnetskog toka udaljavanjem od osi krajnjih kolosijeka za oba napojna voda.



Za proračun jakosti električnog polja je bitan iznos pogonskog napona. U proračunu će se uzeti najviši trajni napon kontaktne mreže od 27,5 kV.

Na slici 8. prikazana je jakost električnog polja uzduž poprečnog presjeka dvokolosječne pruge za napon kontaktne mreže 25 kV.



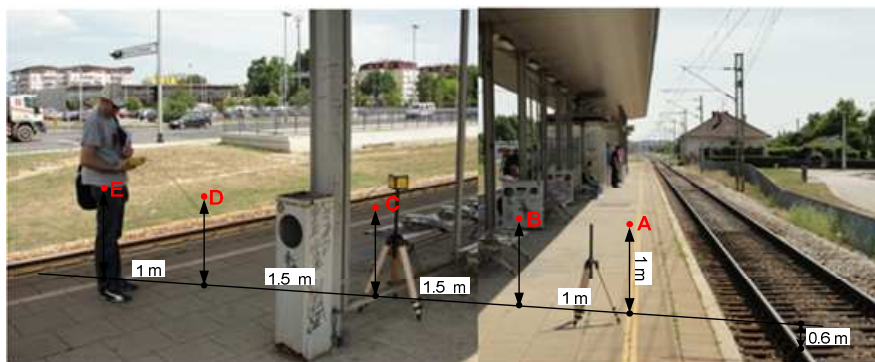
Slika 8. Električno polje uzduž YZ presjeka na kraju prvog raspona kontaktne mreže (krivulje crne boje su granične vrijednosti od 5 kV/m).

Provedenim proračunima za navedenu konfiguraciju kontaktne mreže HŽ Infrastrukture za otvorenu prugu je vidljivo, da je najveća vrijednost jakosti električnog polja između kolosijeka i to na visini vodiča voznog voda, a izvan pružnog pojasa je manja od 0,5 kV/m.

### 3.3. Rezultati mjerenja magnetske indukcije i jakosti električnog polja

Odabrano mjerno mjesto za ovu varijantu kontaktne mreže je stajalište Čulinec napajano iz EVP Resnik. Ono se nalazi na kraku napajanja u smjeru PSN Runjaninove. KM se sastoji od 1 kontaktnog vodiča i 1 nosivog užeta tipa BzII 70. Pruga je dvokolosječna i uzemljene su dvije povratne tračnice (na kolosijeku kojim idu vlakovi u smjeru Zagreba je uzemljena tračnica dalje od perona, a na kolosijeku kojim idu vlakovi u smjeru Sesveta je uzemljena tračnica bliža peronu). Struja napojnog voda kontaktne mreže je promjenjiva ovisno o željezničkom prometu na napajanoj dionici (kolodvor Sesvete - PS2 Dugo Selo).

Mjerenja magnetske indukcije i jakosti električnog polja je provedeno 16. lipnja 2009. u vremenu od 10:15 do 11:30 u blizini nadstrešnice stajališta u 5 mjernih točaka, a njihove pozicije su prikazane na slici 9.



Slika 9. Pozicija mjernih točaka pokraj nadstrešnice stajališta Čulinec

U tablici V su dani rezultati mjerenja jakosti električnog polja i magnetske indukcije za točke prikazane na slici 9.

Tablica V. Rezultati mjerenja na stajalištu Čulinec

RED. BR.	Mjerne točke	Nazivni napon [kV]	Električno polje E [kV/ m]	Mjerna nesigurnost [kV/ m]	Struja izvora mag. polja [A]	Magnetska Indukcija B [ $\mu$ T]	Mjerna nesigurnost [ $\mu$ T]	Zadovoljava granične vrijednosti (5 kV/m, 100 $\mu$ T)
1.	A	25	0,961	$\pm 0,0288$	260 40	8,6	$\pm 0,258$	DA
2.	B	25	0,526	$\pm 0,0158$	315 30	12,5	$\pm 0,375$	DA
3.	C	25	0,204	$\pm 0,0061$	230 35	6,5	$\pm 0,0195$	DA
4.	D	25	0,655	$\pm 0,0197$	250 180	15,5	$\pm 0,465$	DA
5.	E	25	1,13	$\pm 0,0339$	170 50	10,0	$\pm 0,300$	DA

#### 4. ZAKLJUČAK

Naponi i struje napojnih vodova kontaktne mreže ovise o željezničkom prometu na napajanoj dionici, zbog čega su i električna i magnetska polja u blizini kontakte mreže promjenjiva.

Promjena struja, a time i vrijednosti magnetske indukcije u blizini KM mnogo su veće nego li napona. Elektrovučni proračuni za postojeći vozni red vlakova na dionicama pruga napajanim iz EVP Resnik pokazali su da se prosječne struje napojnih vodova u dvosatnom vremenskom periodu mijenjaju u rasponu od 50 A do 150 A.

Naponi KM variraju oko nazivnog napona 25 kV u užim granicama, pa se električno polje značajno ne mijenja. Mjerenjima je pokazano da se naponi u EVP-ima mijenjaju u granicama između 24,75 kV do 27,5 kV.

Provedeni proračuni i mjerenja električnog polja i magnetske indukcije pokazuju da nigdje, niti u jednoj izvedbi kontaktne mreže na otvorenoj pruži, kolodvorima i stajalištima nisu pređene granične razine električnog polja i magnetske indukcije, koje za područje profesionalne izloženosti i frekvenciju 50 Hz iznose  $E = 5$  kV/m;  $B = 100$   $\mu$ T.

#### 5. LITERATURA

- [1] Narda: EFC-400 Magnetic and Electric Field Calculation, User's Manual, Berlin, 2004.
- [2] D. Jergović: "Raspodjela struja između kontaktnog vodiča i nosivog užeta", Željeznice u teoriji i praksi, broj 3-4, 1992. godina.
- [3] Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkog prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge, NN 84/94, 32/96, 21/04.
- [4] I. Uglešić, V. Milardić, M. Mandić, B. Milešević, B. Filipović-Grčić, "Značaj kontaktne mreže HŽ Infrastrukture kao stacionarnog izvora niskofrekvencijskog elektromagnetskog polja", Zagreb, 2010.