

## EMISIJE ELEKTRIČNIH IN MAGNETNIH POLJ DALJNOVODOV IZVEDB DONAVA

Klemen DEŽELAK, Franc JAKL, Ernest BELIČ, Gorazd ŠTUMBERGER

### POVZETEK

*Članek obravnava povzročene emisije električnih in magnetnih polj 400 kV daljnovodov izvedb tipa Donava. V delu je obravnavan karakteristični primer stebra tipa Donava, pri čemer smo spreminjali število vrvi v snopu. Dodatno smo analizirali še, v Avstriji izveden daljnovod enakega tipa, pri čemer je v posebnem primeru na istem stebru poleg dveh 400 kV sistemov nameščen še en 110 kV sistem.*

### ABSTRACT

*In proposed paper the emissions of electric and magnetic fields caused by 400 kV overhead power lines type Donava are dealt. Firstly, the classical Donava type overhead power line is dealt, while different variety of conductor bundle are considered. Secondly, the Austrian type of overhead line is considered, firstly without and after with additional 110 kV system on the same tower.*

### 1. UVOD

Ker se potreba po električni energiji iz leta v leto povečuje, je poleg ustreznih proizvodnih enot potrebno poskrbeti tudi za prenosne enote električne energije. S terminom prenosne enote električne energije označujemo predvsem visokonapetostne daljnovode, s katerimi je mogoče preko velikih razdalj prenesti velike količine energije. Po drugi strani je narava daljnovodov takšna, da med obratovanjem obremenjujejo okolico, kar vpliva tako na naravno kot na življenjsko okolje. Če se osredotočimo samo na gole vodnike in njihov neposreden vpliv na okolico, lahko zaznamo številne vplive na okolje v obliki emisij električnega in magnetnega polja, hrupa, radijskih interferenc ter vplive na skladnost z okolico [1].

V članku obravnavamo visokonapetostni 400 kV daljnovod tipa Donava, predvsem s stališča povzročenih emisij električnih in magnetnih polj. Takšen daljnovod se namreč ponuja kot precej zanimiva alternativa klasičnim dvosistemskim daljnovodom tipa Sod, kateri so na primer sestavni del slovenskega visokonapetostnega elektroenergetskega sistema. Višina stebrov daljnovoda tipa Donava je nekoliko nižja, medtem ko sta naravna in prenosna moč podobni. Po drugi strani smo v Sloveniji soočeni s precej strogimi mejnimi vrednostmi emisij

električnih in magnetnih polj za novozgrajene daljnovode [2]. Na meji koridorja daljnovoda  $\pm 25$  m le-te znašajo  $10 \mu\text{T}$  in  $500 \text{ V/m}$  [2]. Glede na to, da obstoječe izvedbe daljnovodov povzročajo nekoliko večje emisije, je potrebno preučiti različne možnosti konstruiranja izvedb daljnovodov, tudi s stališča morebitnega povečanja, oziroma zmanjšanja povzročenih emisij električnih in magnetnih polj.

## 2. IZRAČUN EMISIJ ELEKTRIČNIH IN MAGNETNIH POLJ

Pri izračunu povzročene gostote magnetnega pretoka vodnika daljnovoda izhajamo iz Biot-Savartovega zakona [1], [3], [4]. Po krajši izpeljavi pridemo do enačbe za izračun prispevka k gostoti magnetnega pretoka  $d\mathbf{B}$ , ki jo povzroča tok, ki teče po ravnem končno dolgem odseku vodnika (1).

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \left( \frac{d\mathbf{l}}{dl} \times \frac{\mathbf{a}}{a} \right) \quad (1)$$

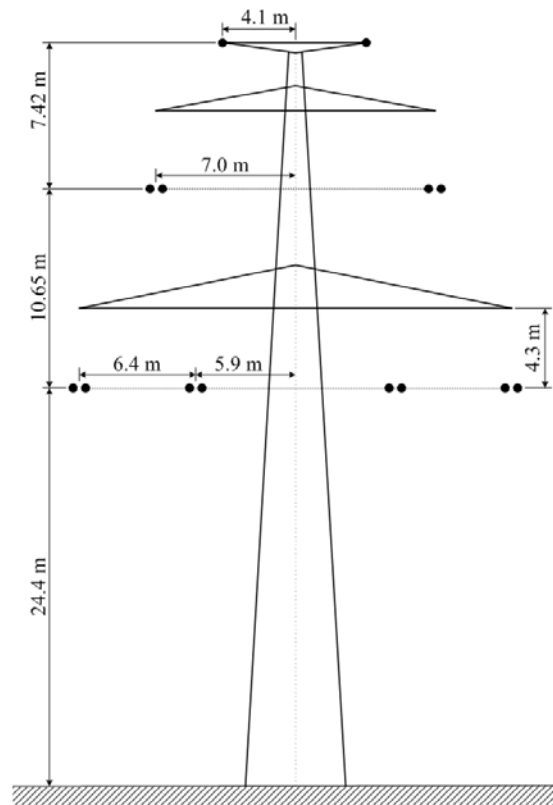
V (1) predstavlja  $\mu_0$  permeabilnost praznega prostora,  $i$  je tok, ki teče skozi odsek vodnika,  $d\mathbf{l}$  je diferencial vektorja dolžinskega elementa vodnika z dolžino  $dl$  ter  $\mathbf{a}$  vektor, z dolžino  $a$ , pravokoten na vektor  $d\mathbf{l}$ .

Prispevek odseka vodnika na nekem potencialu k električni poljski jakosti  $d\mathbf{E}$  v poljubni točki prostora pa lahko izračunamo z (2) [1], [3], [5]. V (2) predstavlja  $q$  naboj nabran na vodniku ter  $\epsilon_0$  dielektričnost praznega prostora. Izračun naboja  $q$  je enostavno izvedljiv v primeru znanih potencialnih razlik vodnikov in znanih razdalj med posameznimi vodniki ter med vodniki in zemljo [1]. V (1) in (2) sta kota  $\alpha_1$  in  $\alpha_2$  kota med vektorjem  $d\mathbf{l}$  in vektorjema od odseka vodnika do opazovane točke v prostoru - glej [1].

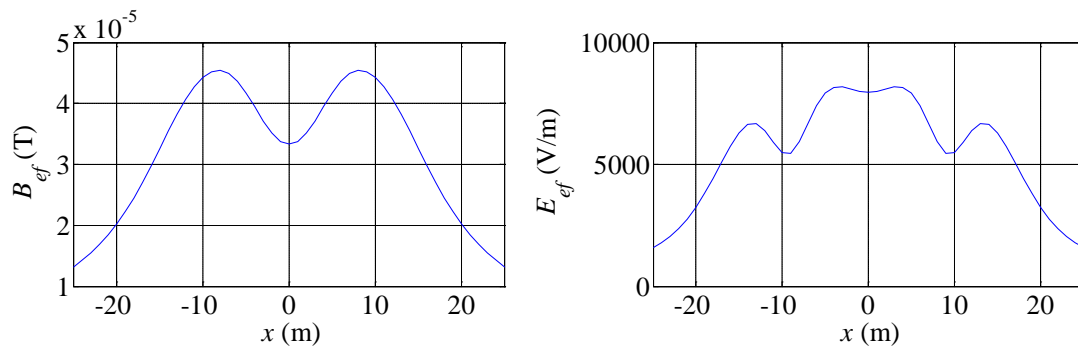
$$d\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \frac{d\mathbf{l}}{dl} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \frac{\mathbf{a}}{a} \quad (2)$$

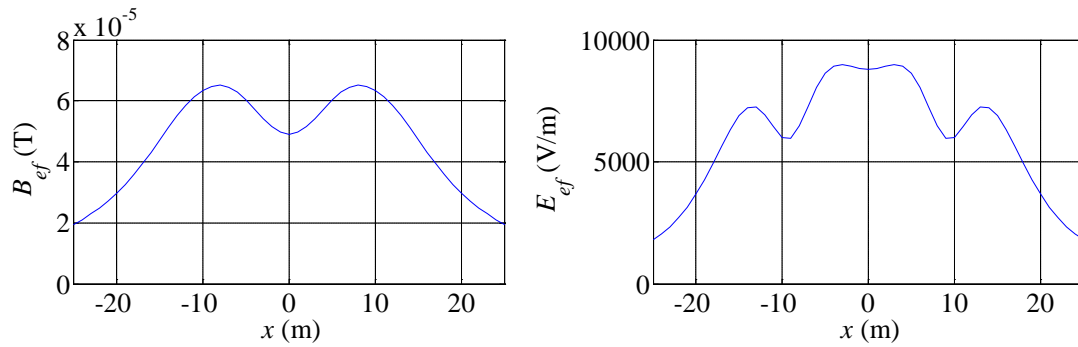
## 3. PRIKAZ IZRAČUNANIH VREDNOSTI EMISIJ EMP

Najprej si bomo pogledali povzročene emisije daljnovoda tipa Donava prikazanega na sliki 1. Vse razdalje na sliki 1 so podane v metrih. Izračunane emisije električnih in magnetnih polj na mestu največjega povesa kažejo slike 2 - 6, pri čemer smo spreminjali število vrvi v snopu od  $N = 2$  do  $N = 4$ . Za primer  $N = 3$  smo prikazali tudi posamezne komponente emisij v vseh treh oseh  $x$ ,  $y$  in  $z$  ter pripadajoče absolutne vrednosti.

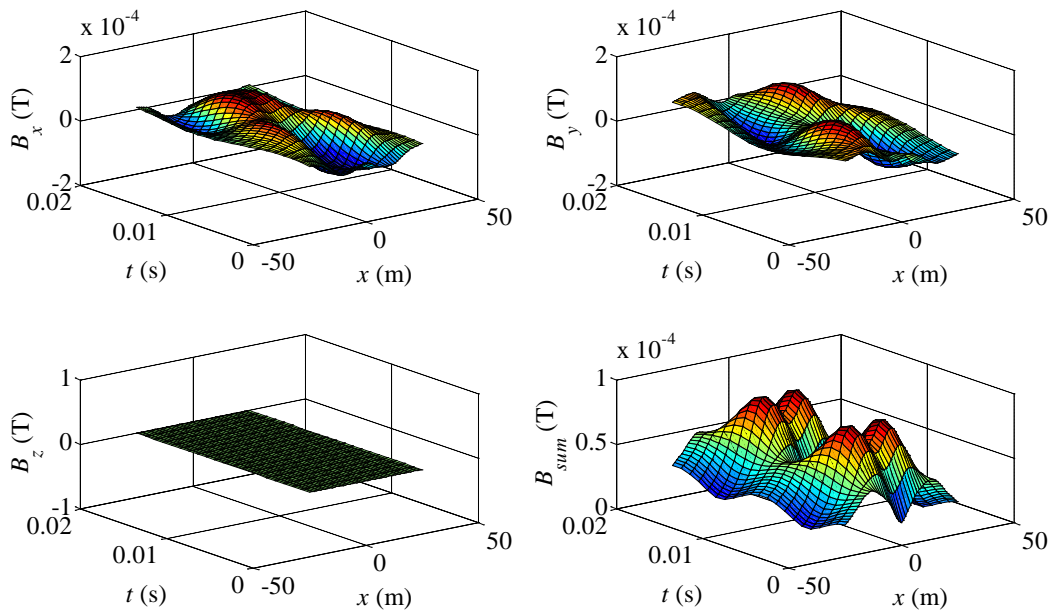


Slika 1: Prikaz stebra tipa Donava.

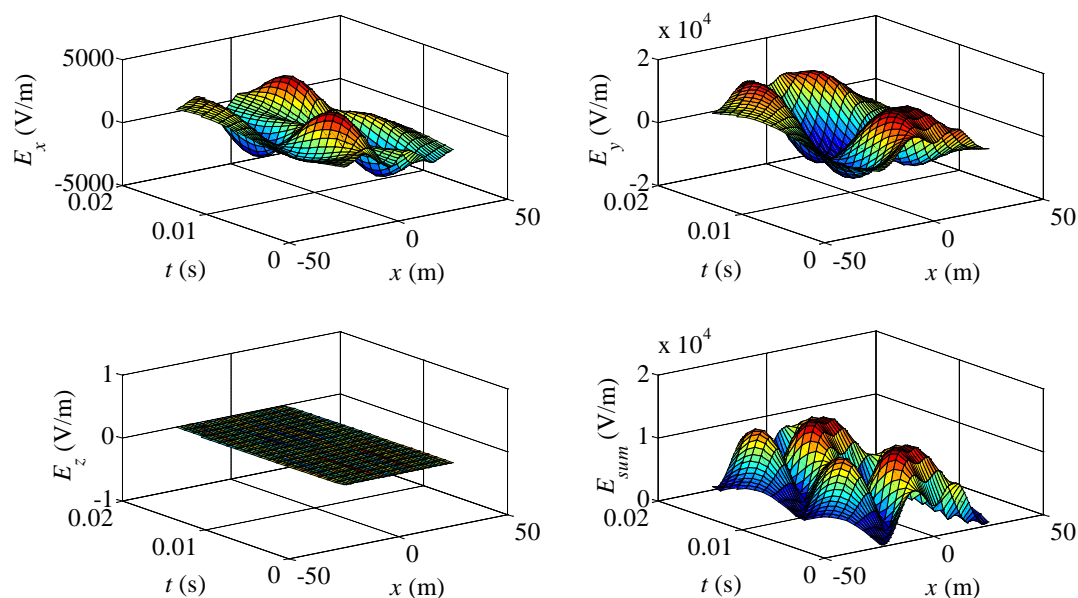
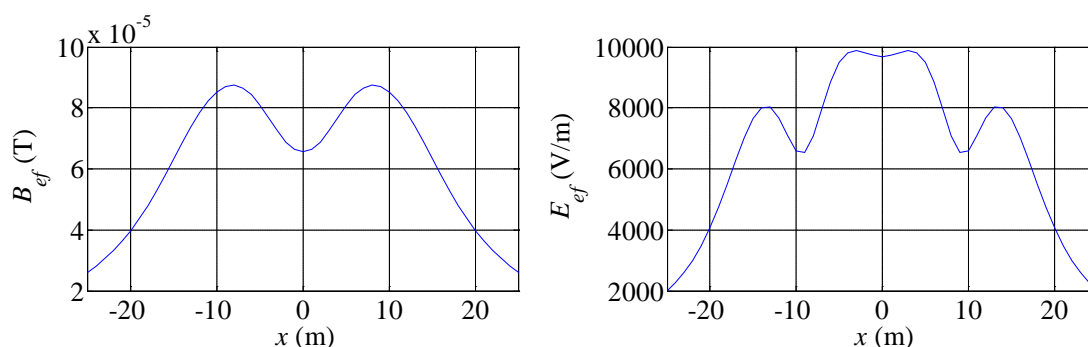
Slika 2: Prikaz emisij magnetnih in električnih polj za primer  $N = 2$ .



Slika 3: Prikaz emisij magnetnih in električnih polj za primer  $N = 3$ .

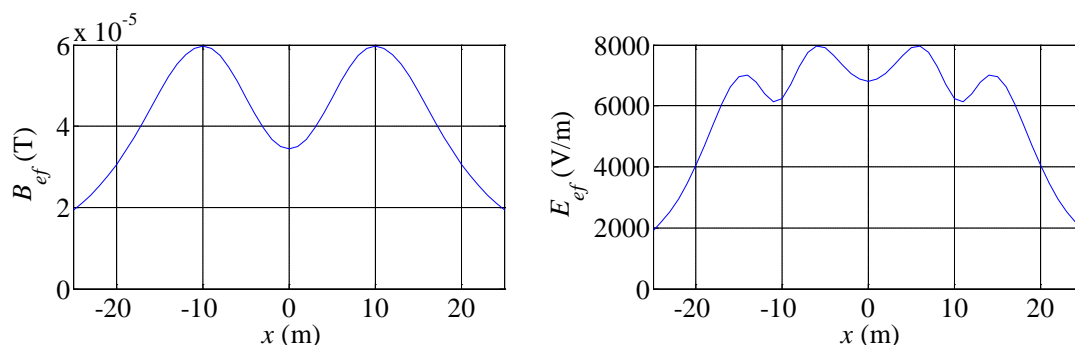


Slika 4: Prikaz emisij magnetnih polj po pozameznih komponentah za primer  $N = 2$ .

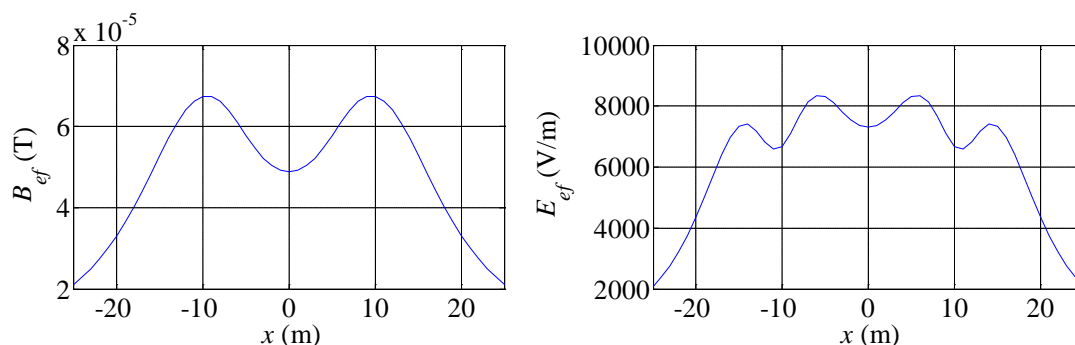
Slika 5: Prikaz emisij električnih polj po pozameznih komponentah za primer  $N = 2$ .Slika 6: Prikaz emisij magnetnih in električnih polj za primer  $N = 4$ .

Zelo pomembne so emisije električnih in magnetnih polj na meji koridorja, torej na  $\pm 25$  m. Le-te znašajo  $13,15 \mu\text{T}$  in  $1592 \text{ V/m}$  (za  $N = 2$ ),  $19,48 \mu\text{T}$  in  $1821 \text{ V/m}$  (za  $N = 3$ ) in  $26,02 \mu\text{T}$  in  $2019 \text{ V/m}$  (za  $N = 4$ ). Maksimalne vrednosti emisij se gibljejo med  $45 \mu\text{T}$  in  $88 \mu\text{T}$  ter  $8170 \text{ V/m}$  in  $9890 \text{ V/m}$ .

Zanimivo si je pogledati tudi povzročene emisije električnih in magnetnih polj izvedb že realiziranih daljnovodov, in sicer v Avstriji (sliki 7 in 8). Pri tem so v obeh primerih uporabljene 3 vrvi v snopu. Razlika med primeroma na slikah 7 in 8 je v dodanem  $110 \text{ kV}$  sistemu na istem stebru (slika 8). Emisije magnetnih polj na  $\pm 25 \text{ m}$  znašajo približno  $19,4 \mu\text{T}$  in  $21 \mu\text{T}$ , medtem ko so emisije električnih polj približno enake  $1920 \text{ V/m}$  in  $2100 \text{ V/m}$ . Maksimalne vrednosti se gibljejo med  $59 \mu\text{T}$  in  $67 \mu\text{T}$  ter  $7950 \text{ V/m}$  in  $8350 \text{ V/m}$ .



Slika 7: Prikaz emisij magnetnih in električnih polj za primer  $N = 3$ , avstrijski primer izvedbe  $2 \times 400$  kV.



Slika 8: Prikaz emisij magnetnih in električnih polj za primer  $N = 3$ , avstrijski primer izvedbe  $2 \times 400$  kV +  $1 \times 110$  kV.

#### 4. SKLEP

V prispevku so obravnavane emisije električnih in magnetnih polj 400 kV daljnovidov tipa Donava. S slovenskega stališča je zanimivo primerjati izračunane vrednosti emisij z vrednostmi predpisanimi v Uredbi o elektromagnetnem sevanju [2]. Če se osredotočimo na izvedbe s tremi vrvmi v snopu opazimo, da so predpisane vrednosti na razdalji  $\pm 25$  m presežene. Ustrezne vrednosti dobimo šele pri povečanju koridorja na 35 m (emisije magnetnih polj), oziroma na 53 m (emisije električnih polj).

## 5. LITERATURA

- [1] Klemen Deželak, Optimalna razporeditev vodnikov daljnovoda glede na emisije elektromagnetnih polj in hrupa, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Doktorska disertacija, 2011.
- [2] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (Uradni list RS 70-3819/96), Vlada Republike Slovenije, 1996.
- [3] W. T. Kaune, L. E. Zaffanella, Analysis of Magnetic Fields Produced Far from Electric Power Lines, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, pp. 2082 – 2091, 1992.
- [4] Klemen Deželak, Gorazd Štumberger, Franc Jakl, Optimalna razporeditev vodnikov daljnovoda glede na koordinacijo izolacije, CIGRE ŠK-B2-2, Kranjska Gora, 2009.
- [5] A. R. Panicali, Calculation of Electric Fields due to Lines of Charge, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 33, No. 1, pp. 67 – 68, 1991.

## NASLOV AVTORJEV

doc. dr. Klemen Deželak, univ. dipl. inž. el.  
prof. dr. Franc Jakl, univ. dipl. inž. el.  
Ernest Belič, dipl. inž. el. (UN)  
red. prof. dr. Gorazd Štumberger, univ. dipl. inž. el.

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko  
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 71 80 Fax: + 386 2 252 54 81 ali + 386 2 220 72 72  
Elektronska pošta: [klemen.dezelak@uni-mb.si](mailto:klemen.dezelak@uni-mb.si)