

DOZIMETRIČNI IZRAČUNI IZPOSTAVLJENOSTI NOSEČNIC IN OTROK V BLIŽINI TRANSFORMATORSKE POSTAJE

BOR KOS, BLAŽ VALIČ, PETER GAJŠEK
INŠTITUT ZA NEIONIZIRNA SEVANJA
peter.gajsek@inis.si

V referatu predstavljamo numerične izračune inducirane električnega polja v telesu nosečnice in otroka pri izpostavljenosti transformatorski postaji nameščeni v večstanovanjski hiši. Ker so otroci in nosečnice potencialno bolj občutljivi za morebitne negativne vplive magnetnega polja, je pri njih potrebna posebno natančna obravnava. Določili smo magnetno polje v stanovanju nad transformatorsko postajo, in ga primerjali z meritvami v praznem prostoru. Model vira transformatorske postaje in nizkonapetostnih zbiralk smo nato uporabili za izračune inducirane električnega polja v telesu nosečnice in dveh otrok. Določene vrednosti v realnem in najslabšem možnem primeru smo primerjali z mejnimi vrednostmi iz smernic za nizke frekvence ICNIRP iz leta 2010.

Ključne besede: Magnetno polje, izpostavljenost prebivalstva, transformatorske postaje

TITLE OF PAPER IN ENGLISH

BOR KOS, BLAŽ VALIČ, PETER GAJŠEK
INSTITUTE OF NON-IONIZING RADIATION
peter.gajsek@inis.si

Abstract –

We present numerical dosimetry of induced *in situ* electric fields in the body of a pregnant female and child exposed to magnetic fields generated by an transformer substation in a residential apartment building. Since children and fetuses are potentially more sensitive to negative effects of magnetic fields, they require special treatment. We built a model of the transformer substations and compared the numerically determined magnetic flux densities with measured values. The substation model was then used to determine the in-situ exposure of the human models of pregnant female and child. The determined values were found to be below the basic restrictions of the 2010 ICNIRP guidelines.

Keywords: Magnetic fields, general public exposure, transformer substation

I. UVOD

Magnetna polja v življenjskem prostoru je agencija za raziskave raka IARC leta 2002 uvrstila v skupino 2B možnih kancerogenih snovi [1]. To uvrstitev so naredili predvsem na podlagi serije epidemioloških raziskav, ki kažejo povečano tveganje za nastanek otroške levkemije pri otrocih, ki so v življenjskem okolju izpostavljeni gostoti magnetnega pretoka nad 0,3 oz. 0,4 μT [2]. Kljub temu, da marsikatera študija na tem področju ne dosega statistične značilnosti, pa je večini skupno, da kažejo na 2-krat večjo verjetnost za razvoj levkemije pri otrocih pri vrednostih 0,3-0,4 μT (24-urno povprečje). Poleg tega je tudi oddaljenost od visokonapetostnih daljnovodov statistično povezana s povečanim tveganjem za nastanek otroške levkemije [3]. Glede na to, da so otroci bolj občutljivi za nekatere fizikalne (npr. UV sevanje) ali kemijske dejavnike, bi bilo možno sklepati, da bi bili bolj občutljivi tudi za morebitne negativne vplive elektromagnetnih sevanj. Kljub vsemu pa ta hipoteza še ni bila ne potrjena ne ovržena [4].

Poleg daljnovodov so najmočnejši vir 50 Hz magnetnega polja v življenjskem okolju transformatorske postaje, predvsem kadar so nameščene v kletnih prostorih večstanovanjskih hiš [5]. Glede na položaj transformatorske postaje je mogoče določiti izpostavljenost prebivalcev v »visoko« in »nizko« kategorijo, pri čemer je več kot 60 % stanovanj neposredno nad transformatorsko postajo izpostavljenih nad vrednostjo 0,4 μT .

Namen tega dela je bil določiti izpostavljenost otroka in nosečnice magnetnim poljem v stanovanju neposredno nad transformatorsko postajo v smislu deleža mejnih vrednosti inducirane električnega polja v telesu, glede na smernice ICNIRP za nizke frekvence iz leta 2010 [6].

II. MATERIALI IN METODE

Za ustrezno modeliranje izpostavljenosti smo izvedli točkovne meritve in meritve povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka v stanovanju nad tipičnim predstavnikom transformatorske postaje v stanovanjskih hišah (20-10/0,4 kV, 630 kVA). V času točkovnih meritev gostote magnetnega pretoka je bil tok v NN zbiralkah 100 A, v času trajnih meritev v trajanju enega meseca pa je bila najvišja vrednost približno 200 A. V času najvišje obremenjenosti transformatorske postaje je izmerjena gostota magnetnega pretoka v stanovanju nad transformatorsko postajo na višini 20 cm nad tlemi presegla mejno vrednost za I. območje (10 μT).

Za numerične izračune smo naredili model transformatorske postaje pod stanovanjem, ki je vključeval samo NN zbiralko, saj so te nameščene tik pod stropom in je zato njihov prispevek najpomembnejši, prispevek stresanega polja iz transformatorja in VN zbiralk pa zanemarljiv. Za

izračune smo uporabili nizkofrekvenčni kvazistatični algoritem v programskem paketu Sencad X. Implementacija algoritma za numerično reševanje Maxwellovih enačb uporablja metodo končnih elementov in privzema poenostavitve, kjer je permeabilnost v celotnem računskem prostoru konstanta in enaka μ_0 . Metoda uporablja Biot-Savartov zakon za določanje vektorskega magnetnega potenciala v celotnem računskem prostoru, ki vključuje človeško telo. V drugem koraku določa inducirano električno polje na podlagi enačbe:

$$\nabla \cdot (\sigma \mathbf{E}) = -j\omega \nabla \cdot (\sigma \mathbf{A}_0) ,$$

ki velja, kadar je $\sigma \gg \epsilon\omega$, to pomeni, da konduktivni

tok prevladuje nad premikalnim tokom. Pri frekvenci 50 Hz ta zveza velja za vsa tkiva v telesu.

Za določanje induciranih tokov v telesu smo uporabili dva modela: model nosečnice v 26. tednu nosečnosti [7] in model 6 letnega dečka [8]. Modela sta narejena na podlagi slik z magnetno resonančno tomografijo in sta sestavljena iz različnega števila tkiv. Dielektrične lastnosti tkiv so bile določene na podlagi podatkov iz literature in nekatere vrednosti so povzete v tabeli I [9].

Modela nosečnice in otroka sta bila postavljena v ležeč položaj vzporedno s smerjo vodnikov NN zbiralk na oddaljenosti 10 cm od tal. Taka oddaljenost predstavlja realistično oddaljenost v primeru ležalne blazine na tleh, oz. igre v primeru otrok.

TABELA I
POVZETEK DIELEKTRIČNIH LASTNOSTI ZA IZBRANA TKIVA

Tkivo	Prevodnost [S/m]	Relativna dielektričnost
Kosti	2.01×10^{-2}	8.87×10^3
Možgani - sive celice	7.53×10^{-2}	1.21×10^7
Možgani - bele celice	5.33×10^{-2}	5.29×10^6
Mali možgani	9.53×10^{-2}	1.21×10^7
Cerebrospinalna tekočina	2.00×10^0	1.09×10^2
Maščoba	1.96×10^{-2}	1.47×10^6
Srce	8.27×10^{-2}	8.67×10^6
Mišice	2.33×10^{-1}	1.77×10^7
Hrbtenjača	2.74×10^{-2}	1.61×10^6
Maternica	2.29×10^{-1}	3.18×10^7

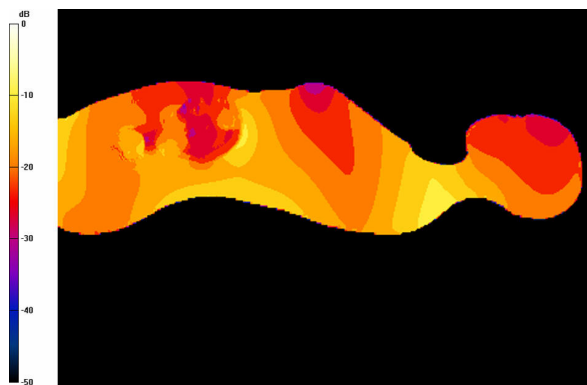
III. REZULTATI IN DISKUSIJA

Rezultati meritev v praznem prostoru so pokazali vrednosti do $11,4 \mu\text{T}$ 20 cm nad tlemi. V točkah bolj oddaljenih od NN zbiralk je bila gostota magnetnega pretoka nižja. Ta vrednost je višja od mejne vrednosti I. območja Uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [10], hkrati pa nižje od izvedene mejne vrednosti Smernic ICNIRP, ki znaša za prebivalstvo pri 50 Hz $200 \mu\text{T}$ [6].

Izračuni gostote magnetnega pretoka v programskem paketu Semcad X se dobro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi, zato lahko izračunane vrednosti uporabimo za določanje inducirane električnega polja v telesu.

Smernice ICNIRP določajo nižje mejne vrednosti za tkiva osrednjega živčnega sistema, kamor se prištevajo možgani, hrbtenjača in mrežnica z vidnim živcem, kot za preostala tkiva telesa. Pri frekvenci 50 Hz je mejna vrednost inducirane električnega polja v tkivih osrednjega živčnega sistema 20 mV/m , v ostalih tkivih pa 400 mV/m . Pri določanju izpostavljenosti posameznih tkiv lahko uporabimo za primerjanje z mejno vrednostjo spodnjo mejo 99. percentila. To pomeni, da je od vseh vrednosti jakosti električnega polja določenih v diskretnem številu vseh računskih enot tkiva 1 % določenih vrednosti višji, 99% pa nižjih od izbrane vrednosti.

Pri izpostavljenosti nosečnice je bila najvišja določena jakost električnega polja $14,2 \text{ mV/m}$, v homogenem (s stališča uporabljenih dielektričnih lastnosti) telesu matere. Najvišja vrednost v plodu je bila manj kot 1 mV/m . Ker tudi najvišje vrednosti v plodu brez prostorskega povprečenja dosegajo manj kot 5 % mejne vrednosti za osrednji živčni sistem uporaba 99. percentila ni smiselna. Električno polje v telesu nosečnice in ploda je prikazano na sliki 1.

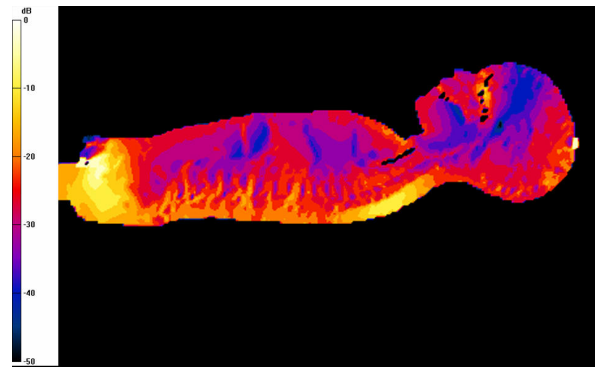


Slika 1: Električna poljska jakost v telesu nosečnice (prerez). Vrednosti so v dB od maksimalne vrednosti ($14,2 \text{ mV/m}$).

Pri izpostavljenosti otroka je bila najvišja vrednost v celotnem telesu $0,7 \text{ mV/m}$, kar znaša manj kot 4 % mejne vrednosti za centralni živčni sistem. Vrednosti 99. percentila v osrednjem živčnem sistemu so $0,021 \text{ mV/m}$, kar je bistveno manj od mejne vrednosti.

Pri dobljenih rezultatih je pričakovano, da so vrednosti inducirane električnega polja v telesu nosečnice višje, saj ima v preseku njeno telo večjo površino, jakost inducirane električnega polja v prevodni zanki pa je sorazmerna s površino zanke. Tako se v večjem telesu tvorijo večje prevodne zanke in njihova posledica so večje inducirane električne poljske jakosti.

Transformatorska postaja je bila med meritvami obremenjena s približno 10 % svoje nazivne moči. Če bi bila postaja obremenjena pri nazivni moči, bi bile inducirane vrednosti sorazmerno višje, vendar kljub temu ne bi presegle mejnih vrednosti po smernicah ICNIRP.



Slika 2: Električna poljska jakost v telesu nosečnice (prerez). Vrednosti so v dB od maksimalne vrednosti ($0,7 \text{ mV/m}$).

IV. ZAKLJUČKI

Glede na nizke vrednosti inducirane električnega polja v telesu lahko zaključimo, da izpostavljenost otrok in nosečnice transformatorskim postajam ne presega mejnih vrednosti za električno polje v telesu po smernicah ICNIRP. Kljub temu pa bi bilo smiselno pri prenovah tovrstnih transformatorskih postaj upoštevati ukrepe za zmanjšanje obremenitve stanovanj z magnetnim poljem, kamor sodi predvsem ustrezno namestitvev NN zbiralk v okviru tehničnih omejitev.

REFERENCE

- [1] IARC, IARC MONOGRAPHS ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, vol. 80. Lyon, France: IARC Press, 2002.
- [2] L. Kheifets, A. Ahlbom, C. M. Crespi, G. Draper, J. Hagihara, R. M. Lowenthal, G. Mezei, S. Oksuzyan, J. Schüz, J. Swanson, A. Tittarelli, M. Vinceti, and V. Wunsch Filho, 'Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia', Br. J. Cancer, vol. 103, no. 7, pp. 1128–1135, Sep. 2010.

- [3] G. Draper, T. Vincent, M. Kroll, and J. Swanson, 'Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study', *Br. Med. J.*, vol. 330, no. 7503, pp. 1290–1292A, Jun. 2005.
- [4] L. Kheifets, M. Repacholi, R. Saunders, and E. van Deventer, 'The sensitivity of children to electromagnetic fields', *Pediatrics*, vol. 116, no. 2, pp. e303–313, Aug. 2005.
- [5] K. Ilonen, A. Markkanen, G. Mezei, and J. Juutilainen, 'Indoor transformer stations as predictors of residential ELF magnetic field exposure', *Bioelectromagnetics*, vol. 29, no. 3, pp. 213–218, Apr. 2008.
- [6] ICNIRP, 'Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)', *Health Phys.*, vol. 99, no. 6, pp. 818–836, Dec. 2010.
- [7] L. Bibin, J. Anquez, J. P. de la Plata Alcalde, T. Boubekeur, E. D. Angelini, and I. Bloch, 'Whole-body pregnant woman modeling by digital geometry processing with detailed uterofetal unit based on medical images', *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 57, no. 10, pp. 2346–2358, Oct. 2010.
- [8] A. Christ, W. Kainz, E. Hahn, K. Honegger, M. Zefferer, E. Neufeld, W. Rascher, R. Janka, W. Bautz, J. Chen, B. Kiefer, P. Schmitt, H. Hollenbach, J. Shen, M. Oberle, D. Szczerba, A. Kam, J. Guag, and N. Kuster, 'The Virtual Family-development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations', *Phys. Med. Biol.*, vol. 55, no. 2, pp. N23–N38, Jan. 2010.
- [9] S. Gabriel, R. Lau, and C. Gabriel, 'The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues', *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, no. 11, pp. 2271–2293, Nov. 1996.
- [10] Vlada RS, 'Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju'. Uradni list RS, 1996.