

Izpostavljenost elektromagnetnemu sevanju v bližnjem polju tri-pasovne antene za mobilno telefonijo

Bor Kos^{1,2}, Tadej Kotnik¹, Blaž Valič², and Peter Gajšek²

¹Laboratorij za biokibernetiko, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

²INIS – Inštitut za neionizirna sevanja, Ljubljana

E-pošta: bor.kos@fe.uni-lj.si

Exposure to electromagnetic fields in the near field of a 3-band base station antenna

FDTD simulations were used to determine workers' exposure in close proximity to a 3-band base station antenna at frequencies of 900, 1800 and 2100 MHz. A commercially available antenna was used and exposure determined numerically at each frequency separately. Finally we compared the exposure at each frequency separately, as well as the combined exposure, to basic restrictions from the ICNIRP guidelines. Results show that, for combined exposure, whole-body SAR is a more limiting factor for compliance than spatial peak SAR.

Uvod

Poklicna izpostavljenost elektromagnetnemu sevanju v bližini oddajnih anten je pogosta tema raziskav, poleg tega pa je zaradi baznih postaj sistemov mobilne telefonije pogosto zaskrbljena tudi širša javnost. Spričo njihove vseprisotnosti to ni nič nenavadnega. V danski raziskavi so npr. ugotovili, da ljudi v povprečju bolj skrbi splošna onesnaženost okolja kot bazne postaje, kljub temu pa je zaskrbljenost pri nekaterih skupinah prebivalstva vseeno velika [1].

Bazne postaje naj bi bile sicer nameščene tako, da imajo v njihovo neposredno bližino dostop samo zaposleni pri mobilnih operaterjih ali izjemoma še vzdrževalci na strehah poslopij, kjer so nameščene oddajne antene. Ker naj bi bili zaposleni bolj seznanjeni s tveganji, povezanimi z izpostavljenostjo elektromagnetnim sevanjem, kot prebivalstvo, veljajo zanje višje mejne vrednosti izpostavljenosti [2]. Toda vedno ni mogoče zagotoviti izklopa bazne postaje, kadar se v njeni bližini zadržujejo delavci, zato je vendarle potrebno poznati njihovo izpostavljenost.

Čeprav je bilo objavljenih že več študij, ki so obravnavale poklicno izpostavljenost v bližini baznih postaj [3,4], se še nobena ni konkretno ukvarjala s sočasno izpostavljenostjo človeškega telesa več frekvencam. Ta je še posebej aktualna v zadnjem času, ko so zaradi pokrivanja prebivalstva s signalom mobilnih komunikacij tretje generacije večpasovne antene vse pogostejše. Zato smo izvedli numerične simulacije izpostavljenosti delavca v neposredni

bližini antene bazne postaje pri frekvencah 900, 1800 in 2100 MHz ter določili vplivno območje glede na smernice ICNIRP.

Materiali in metode

Prevladujoča metoda modeliranja in simulacij na področju numerične dozimetrije pri visokih frekvencah je metoda končnih diferenc v časovnem prostoru (*finite-difference time-domain – FDTD*). Uporablja relativno preprost algoritem računanja polnih Maxwellovih enačb v časovnem prostoru. Algoritem izmenično računa v enem koraku jakost električnega in v naslednjem jakost magnetnega polja na pravokotni mreži. Novejši programski paketi omogočajo neenakomerno ločljivost mreže, zato lahko razmere v zanimivih strukturah modeliramo zelo natančno, manj zanimive – v našem primeru prazen prostor – pa manj natančno. Za najmanjši korak računske mreže se običajno uporablja desetina najkrajše valovne dolžine polja, vendar v nekaterih primerih, če gre na primer za notranjost tkiva, lahko zadostuje že polovica valovne dolžine.

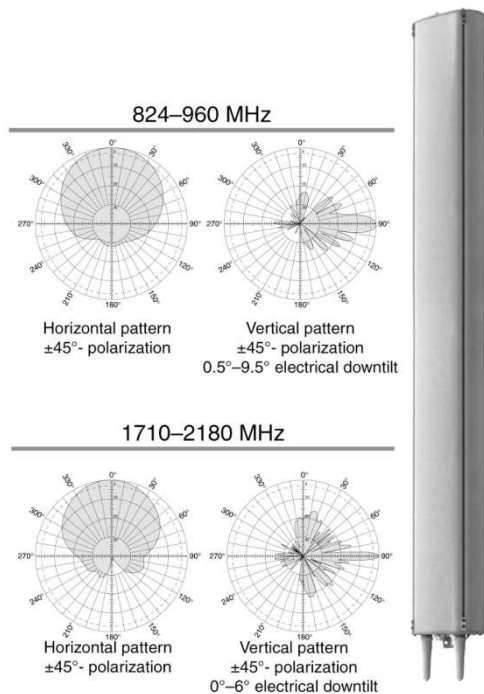


Slika 1: Model antene v praznem prostoru. Vertikalno si sledi 6 večjih in 12 manjših identičnih sevalnih elementov.

Model antene bazne postaje

Za simulacije in modeliranje smo uporabili programski paket SEMCAD X (Schmid & Partner engineering, Zürich, Švica). Zgradili smo natančen model bazne postaje KATHREIN 742 265, ki ima dvojno križno polarizacijo (+45° in -45°) za

zagotavljanje čim boljšega signala (*diversity*). Notranjo geometrijo smo modelirali na podlagi razstavljenih antene: vzbujanje smo modelirali neposredno na sevalnih elementih, prav tako nismo upoštevali vezij za električno nastavljanje vertikalnega kota sevanja.



Slika 2: Sevalni diagrami in zunanji izgled antene [5]

Najprej smo s pomočjo simulacij antene v praznem prostoru primerjali izračune s podatki proizvajalca, ki so povzeti tudi na sliki 2 (dobitek 16 dBi in vertikalna širina glavnega snopa 10° pri 900 MHz ter dobitok 18 dBi in vertikalna širina glavnega snopa 5° med 1700 in 2180 MHz), in ugotovili dobro ujemanje. Jakosti električnega polja v bližini postaje smo primerjali s podatki, objavljenimi v literaturi [6], in prav tako ugotovili dobro ujemanje.

Model človeka in vrednotenje izpostavljenosti

Smernice ICNIRP določajo kot merilo izpostavljenosti pri visokih frekvencah stopnja

specifične absorpcije (SAR, *specific absorption rate*). SAR je definirana kot absorbirana moč na enoto mase, podaja pa jo enačba

$$SAR = E^2 \sigma / \rho \quad (1)$$

Tako je sorazmerna kvadratu jakosti električnega polja in prevodnosti ter obratno sorazmerna gostoti tkiva, merimo pa jo v W/kg. V smernicah ICNIRP je vrednost SAR preko celega telesa za delavce omejena na 0.4 W/kg, lokalna vrednost, povprečena preko desetih gramov tkiva pa na 10 W/kg.

Ker se lastnosti človeških tkiv s frekvenco močno spreminjajo [7][8], je potrebno izvesti simulacijo in izračun SAR za vsako obravnavano frekvenco posebej in nato ustrezno ovrednotiti skupno izpostavljenost. Povzetek dielektričnih lastnosti nekaterih pomembnejših tkiv je prikazan v tabeli 1.

Vrednotenje skupne izpostavljenosti smo izvedli po enačbi 2, kot predvidevajo smernice ICNIRP:

$$\sum_i \frac{SAR_i(f_i)}{SAR_L(f_i)} \leq 1 \quad (2)$$

kjer vsota poteka po vseh frekvencah v območju 100 kHz < f_i < 10 GHz, ki jih oddaja analizirani vir. Pri tem predstavlja SAR_i v zgornji enačbi vrednost SAR pri določeni frekvenci f_i , SAR_L pa mejno vrednost pri tej frekvenci.

Uporabili smo anatomsko realistični model telesa odraslega moškega iz paketa Virtual Family (IT'IS Foundation, Zürich, Švica)[9], zgrajen na podlagi visokoločljivostnih MRI slik. Razdeljen je na več kot osemdeset različnih tkiv in organov, visok je 174 cm, njegova masa pa je 70 kg.

Model smo postavili na različne razdalje in ga obrnili z obrazom proti anteni. Tako antena kot model človeka sta bila postavljena v praznem prostoru. Ta poenostavitev je upravičena, saj so tovrstne antene obrnjene stran od ovir in nameščene na zunanji strani nosilnih stebrov.

Velikost elementov mreže v telesu je bila omejena na največ 5 mm, čeprav je bila zaradi načina gradnje le-te večina modela diskretizirana bolj natančno. Razdalja 5 mm je še vedno manj kot polovica valovne dolžine za vse vrste tkiv, zato so rezultati veljavni.

	900 MHz			1800 MHz			2100 MHz		
	σ [S/m]	ϵ_r	d [cm]	σ [S/m]	ϵ_r	d [cm]	σ [S/m]	ϵ_r	d [cm]
Kri	1.54	61.36	2.78	2.04	59.37	2.03	2.26	58.85	1.82
Kosti	0.14	12.45	13.2	0.28	11.78	6.67	0.33	11.59	5.55
Možgani – siva substanca	0.94	52.73	4.15	1.39	50.08	2.73	1.57	49.51	2.39
Možgani – bela substanca	0.59	38.89	5.67	0.91	37.01	3.56	1.05	36.60	3.09
Cerebrospinalna tekočina	2.41	68.64	1.92	2.92	67.20	1.52	3.15	66.76	1.40
Maščoba	0.05	5.46	24.4	0.08	5.35	15.7	0.09	5.32	13.7
Mišice	0.94	55.03	4.24	1.34	53.55	2.92	1.51	53.16	2.58

Tabela 1: Povzetek dielektričnih lastnosti in vdornih globlin nekaterih tkiv pri različnih frekvencah. Bistveno se spreminjata predvsem prevodnost in vdorna globlina, kar pomembno vpliva na SAR.



Slika 3: Realni del električnega polja znotraj človeka v bližini antene. Barvna skala je v logaritmskem merilu.

Rezultati in diskusija

Na sliki 3 je prikazano električno polje, ki ga povzroča antena pri 2100 MHz. Vidi se, kako se skrajša valovna dolžina in kako znotraj telesa pada jakost električnega polja. Vdorna globina je pri tej frekvenci namreč pri večini tkiv okoli 2 cm, zato se večina absorpcije energije zgodi blizu površine telesa.

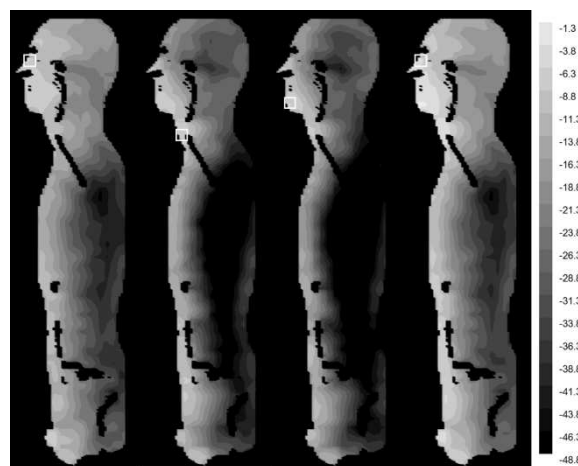
Vrednosti SAR pri različnih frekvencah in za sočasno izpostavljenost so predstavljene v tabeli 2. Oddajna moč za vsako frekvenco je bila nastavljena na 30 W, kar predstavlja realistični scenarij za bazno postajo z več oddajno-sprejemnimi enotami za vsak frekvenčni pas. Po potrebi je mogoče normalizirati izračunane vrednosti na poljubno kombinacijo moči glede na konkretno situacijo.

Na sliki 4 je prikazana SAR pri različnih frekvencah. Bel kvadrataček označuje lokacijo najvišje vrednosti SAR, povprečene preko 10 g tkiva. Ker lokalni maksimumi niso vsi na istem mestu, je res

		oddaljenost	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	40 cm	45 cm
GSM	povprečje 10 g		4.75	3.32	2.14	2.88	1.68	1.36
	celo telo		0.22	0.20	0.19	0.17	0.14	0.12
DCS	povprečje 10 g		6.09	3.75	2.66	2.06	1.67	1.66
	celo telo		0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.07
UMTS	povprečje 10 g		7.65	5.34	2.39	2.36	1.22	1.11
	celo telo		0.16	0.13	0.11	0.10	0.08	0.04
Sočasno	povprečje 10 g		14.79	10.68	5.83	5.47	4.57	3.22
	celo telo		0.55	0.48	0.44	0.40	0.32	0.22

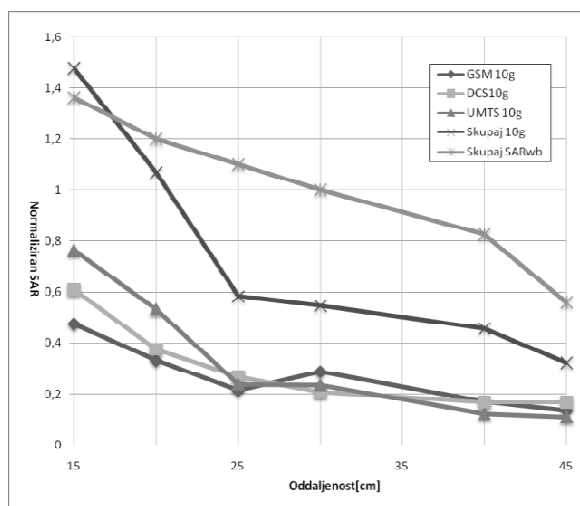
Tabela 2: Vrednosti SAR pri različnih oddaljenostih od antene. Vse vrednosti so v W/kg. Mejna vrednost za povprečje preko desetih gramov je 10 W/kg, za celo telo pa 0.4 W/kg.

potrebno in upravičeno, da celotno SAR seštevamo v vsaki točki posebej in ne seštejemo zgolj najvišjih vrednosti. Če bi uporabili konzervativni pristop in zgolj sešteli najvišje vrednosti lokalizirane SAR, bi bila pri oddaljenosti 30 cm celotna vrednost 7.3 W/kg oziroma 0.73 po enačbi 2. Dejanska vrednost je 5.47 W/kg oziroma 0.55 po enačbi 2, kar je za 25% manj.



Slika 4: Lokalizirana SAR pri različnih frekvencah. Od leve proti desni so 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz in sočasna izpostavljenost. Skala je logaritmska in normirana na 10 W/kg.

Na sliki 5 je prikazan graf normalizirane SAR v odvisnosti od oddaljenosti od antene. Iz grafa lahko preberemo, da je za velikost vplivnega območja antene najbolj pomembna SAR preko celotnega telesa. Celotelesna SAR je odvisna predvsem od celotne telesne teže in učinkovitosti absorpcije energije. Celotna absorbirana energija bo tem večja, čim večja bo površina telesa, na katero valovanje vpada. Ker pa površina telesa z velikostjo posameznika narašča počasneje kot volumen in s tem masa, lahko sklepamo, da bo za večje in težje ljudi celotelesna SAR pri enaki izpostavljenosti manjša. Obratno je za manjše in lažje ljudi SAR ustrezno večja. To je še posebej problematično pri otrocih, vendar v tem primeru ne pričakujemo možnosti, da bi otroci lahko prišli tako blizu delujoče bazne postaje.



Slika 5: Vrednosti normaliziranega SAR (glede na mejne vrednosti) v odvisnosti od oddaljenosti

Sklep

Ugotovili smo, da se lokacija maksimalne lokalizirane vrednosti SAR bistveno spreminja s frekvenco. Zato je potrebno pri določanju sočasne izpostavljenosti v primeru večpasovne bazne postaje za mobilno telefonijo vrednosti SAR seštevati točko za točko in ne samo maksimumov. Predvsem za večje razdalje od antene je celotelesna vrednost SAR v vsakem primeru bolj odločilna za določanje vplivnega območja kot lokalizirana SAR.

Za opisano anteno in scenarij, po katerem imajo vsi frekvenčni pasovi oddajno moč 30 W, je meja vplivnega območja na oddaljenosti 30 cm od antene.

Zahvala

Zahvaljujemo se družbi Mobitel d.d., ki nam je prijazno posodila opisano anteno.

Literatura

- [1] I.S. Kristiansen, Arthur S. Elstein, Dorte Gyrd-Hansen, Helle W. Kildemoes, and Jesper B. Nielsen, "Radiation from mobile phone systems: Is it perceived as a threat to people's health?," *Bioelectromagnetics*, vol. 30, 2009, pp. 393-401.
- [2] A. Ahlbom, U. Bergqvist, J. Bernhardt, J. Cesarini, L. Court, M. Grandolfo, M. Hietanen, A. McKinlay, M. Repacholi, D. Sliney, J. Stolwijk, M. Swicord, L. Szabo, M. Taki, T. Tenforde, H. Jammet, and R. Matthes, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 74, 1998, pp. 494-522.
- [3] M. van Wyk, M. Bingle, and F. Meyer, "Antenna modeling considerations for accurate SAR calculations in human phantoms in close proximity to GSM cellular base station antennas," *Bioelectromagnetics*, vol. 26, 2005, pp. 502-509.
- [4] M. Martinez-Burdalo, A. Martin, M. Anguiano, and R. Villar, "On the safety assessment of human exposure in the proximity of cellular communications base-station antennas at 900, 1800 and 2170 MHz,"

Physics in Medicine and Biology, vol. 50, 2005, pp. 4125-4137.

- [5] Kathrein-inc. Scala Division **742 265 65°** Dualband Directional Antenna. <http://www.kathrein-scala.com/catalog/742265.pdf>
- [6] T. Toivonen, T. Toivo T, L. Puranen, K. Jokela, Specific absorption rate and electric field measurements in the near field of six mobile phone base station antennas. *Bioelectromagnetics*, vol 30, 2009, pp 307-312
- [7] C. Gabriel, S. Gabriel, E. Corthout. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Physics in Medicine and Biology*, vol. 41, 1996, pp. 2231-2249.
- [8] C. Gabriel, R.W. Law, S. Gabriel. The dielectric properties of biological tissues: II Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Physics in Medicine and Biology*, vol. 41, 1996, pp. 2251-2269.
- [9] A. Christ, W. Kainz, E. G. Hahn, K. Honegger, M. Zefferer, E. Neufeld, W. Rascher, R. Janka, W. Bautz, J. Chen, B. Kiefer, P. Schmitt, H. P. Hollenbach, J. X. Shen, M. Oberle, N. Kuster. The Virtual Family – Development of anatomical CAD models of two adults and two children for dosimetric simulations. *Physics in Medicine and Biology*, in press, 2009.