

UTICAJ ELEKTROMAGNETSKOG POLJA MOBILNIH TELEFONA NA DECU

Vera Marković¹, Vladimir Stanković²

¹Elektronski fakultet u Nišu

²Fakultet zaštite na radu u Nišu

Sadržaj: Sve intenzivnija upotreba mobilnih telefona izaziva zabrinutost u javnosti zbog mogućih štetnih efekata elektromagnetskog zračenja kojima su izloženi korisnici ovih uređaja, prevashodno deca. U ovom radu su prikazane navike korišćenja mobilnih telefona kod dece i tinejdžera, i mogući štetni biološki efekti. Kako se ljudsko telo sastoji od različitih tkiva i organa, svaki od njih je neophodno opisati odgovarajućim elektromagnetskim karakteristikama. Dat je pregled različitih modela odrasle osobe i dece koji se koriste za numerički proračun prodrlog elektromagnetskog polja. Na bazi rezultata elektromagnetske analize moguće je izvesti određene zaključke o specifičnostima kada je u pitanju izloženost dece elektromagnetskom zračenju mobilnog telefona.

Glavne reči: mobilni telefon, elektromagnetske karakteristike tkiva, model glave deteta, specifična brzina apsorpcije

1. Uvod

Intenzivna upotreba mobilnih telefona od strane dece, kao i ukupno povećanje u korišćenju mobilnih telefona kod odraslih, dovelo je do značajnog izlaganja ljudi elektromagnetskom zračenju. S obzirom na bogatstvo sadržaja koji nude pametni telefoni, oni su postali neizostavni detalj kod svih starosnih kategorija stanovništva. Svakodnevna upotreba mobilnih telefona nameće pitanje uticaja elektromagnetskog zračenja na ljude, a pogotovu na decu.

Izloženost elektromagnetskom zračenju emitovanog od strane mobilnih telefona zavisi od modela telefona, konfiguracije antene i jačine signala. Slab signal dovodi do viših nivoa izloženosti, budući da uređaj zahteva kvalitetan prijem signala.

Uprkos zabrinutosti o zdravstvenim posledicama dugoročnog izlaganja RF zračenju, popularnost korišćenja bežičnih uređaja među malom decom je u naglom porastu, čak i kod veoma male dece. Devetnaest procenata dece uzrasta od dve do pet godina češće želi da koristi pametni telefon nego da vreme provodi baveći se nekim drugim aktivnostima. Skoro isto toliko dece uzrasta od dve do tri godine (17%) igraju se pametnim aplikacijama kao i deca starosti od četiri do pet godina (21%). Jedna četvrtina od sve dece uzrasta od dve do pet godina znaju kako da pozivaju mobilnim telefonima

(slika 1). Brojni telefoni su posebno dizajnirani za malu decu, neki sa aplikacijama za decu predškolskog uzrasta [1].



Slika 1. Aktivno korišćenje mobilnih telefona od strane male dece

Vlasnicima pametnih telefona je dostupan veliki izbor različitih aplikacija. Najpopularniji tip aplikacija kod dece su svakako igre i aplikacije društvenih mreža. Prosečno, vlasnici pametnih telefona provedu i do osam sati mesečno igrajući igre. Prema jednom istraživanju pokazano je da korisnici iPhona igraju skoro 15 sati svakog meseca, dok oni sa Android uređajima igraju oko devet sati mesečno [2].

Pametni telefoni su postali sastavni deo školskih aktivnosti. Dizajn obrazovnih aplikacija je doveo do usvajanja pametnih telefona u mnogim školama i na fakultetima kod đaka i studenata. Nastavnici i administratori koriste smartfon aplikacije za proveru prisustva, ankete u učionicama, slanje informacija o domaćim zadacima, ispitima, školskim dešavanjima i još mnogo toga. Današnja deca će svakako imati mnogo veću izloženost zračenju mobilnih telefona tokom svog života nego odrasli [3].

Zabrinutost zbog zdravstvenih rizika po decu od zračenja mobilnih telefona dovela je do zabrane korišćenja mobilnih telefona u školama u Francuskoj i širom Evrope. Konkretno, Francuska zabranjuje upotrebu mobilnih telefona u vrtićima, osnovnim školama i fakultetima kao mere predostrožnosti kako bi se smanjili potencijalni zdravstveni rizici.

S druge strane, pametni telefoni su našli veliku primenu u obrazovanju. Čak 67% roditelja u SAD bi kupila mobilni uređaj za njihovo dete za rad u školi ako škola to dozvoljava, a 61% podržava ideju učenika koji koriste mobilne uređaje za pristup udžbenicima [4].

Većina studija koja se bavi uticajem elektromagnetskog zračenja koje potiče od mobilnih telefona se fokusirala na utvrđivanje apsorbovane energije u standardnim modelima glave odrasle osobe.

Standardi i uputstva o granicama izlaganja elektromagnetskim poljima su razvijeni na osnovu istraživanja za odrasle [5]. Iz tog razloga, neophodno je utvrditi da li su ove bezbednosne granice dovoljno validne i za decu.

Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC - International Agency for Research Cancer) je označila zračenja elektromagnetnih polja kao moguće kancerogena i svrstala ih u 2B grupu. Ova preporuka je posledica istraživanja povećanja malignog tipa tumora mozga [6].

U ovom radu akcenat je na modelovanju i analizi uticaja elektromagnetskog polja mobilnih telefona na decu. Nakon Uvoda, u drugom poglavlju *Elektromagnetske osobine tkiva*, biće dati izrazi na osnovu kojih se izračunava specifična brzina apsorpcije elektromagnetske energije kao i kratak opis elektromagnetskih osobina tkiva. U trećem poglavlju *Numerički modeli i rezultati* predstavljeni su numerički modeli različite složenosti koji treba da simuliraju glavu korisnika mobilnog telefona. U istom poglavlju dat je jedan primer simulacije razgovora mobilnim telefonom pri čemu je korišćen realni model glave deteta. U četvrtom poglavlju prikazani su potencijalno mogući biološki efekti kod korisnika mobilnih telefona. Peto poglavlje je Zaključak, iza koga sledi Literatura.

2. Elektromagnetske osobine tkiva

Veličina koja se koristi za utvrđivanje eventualnih štetnih efekata elektromagnetskog polja po zdravlje ljudi je specifična brzina apsorpcije elektromagnetske energije (SAR - Specific Absorption Rate). SAR direktno zavisi od elektromagnetskih osobina tkiva i organa i definiše se kao:

$$\text{SAR} = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (1)$$

gde su: E - maksimalna vrednost unutrašnjeg električnog polja, σ - provodnost tkiva i ρ - gustina tkiva.

Praktičnije je upotrebljavati usrednjeni SAR, koji se definiše kao odnos apsorbirane snage u biološkom tkivu i mase tog tkiva. Ova veličina se dobija integraljenjem sledećeg izraza:

$$\text{SAR}_{\text{av}} = \frac{1}{V} \int_V \text{SAR} dV = \frac{1}{V} \int_V \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 dV. \quad (2)$$

Usrednjeni SAR se obično računa za deo tkiva od 1g (SAR1g) i 10g (SAR10g).

Kao što se iz prethodnog izraza vidi, da bismo došli do vrednosti za SAR, neophodno je poznavati elektromagnetske karakteristike tkiva i organa. Biološka tkiva su nehomogena, nelinearna i disperzivna. Budući da se ljudsko telo sastoji od više različitih tkiva i organa, svaki od njih je neophodno opisati odgovarajućim elektromagnetskim karakteristikama. Te elektromagnetske karakteristike su relativna dielektrična konstanta ϵ_r , provodnost σ i relativna magnetna propustljivost μ_r [7].

Ovi parametri snažno zavise od vrste tkiva i radne frekvencije izvora zračenja. To je pre svega zbog različitog sadržaja vode, kao i organskog sadržaja u tkivima.

3. Numerički modeli i rezultati

Određivanje uticaja elektromagnetskog zračenja mobilnog telefona sastoji se u određivanju prodrlog elektromagnetskog polja u ljudskoj glavi i apsorpcije elektromagnetske energije, što za posledicu ima povećanje temperature u glavi. Važnu ulogu u apsorpciji elektromagnetske energije pored radne frekvencije i rastojanja između izvora i objekta, igra i sam oblik anatomskog modela ljudske glave.

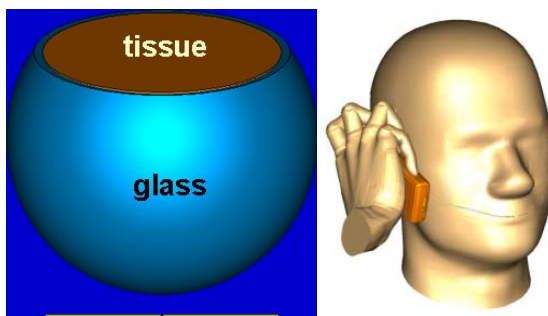
Pored razlike u morfologiji i sastavu tkiva, bitna razlika između glave deteta i odrasle osobe je veličina i oblik glave. Tu se pre svega misli na tanja tkiva i organe, pre svega lobanje i ušne školjke. Samim tim i izlaganje dece elektromagnetskom zračenju je veće nego kod odraslih.

Više vrednosti SAR u glavi deteta prema nekim autorima je posledica tanje ušne školjke modela glave deteta, pa je samim tim i položaj antene bliži glavi. Takođe, smanjenjem debljine ušne školjke redukuje se apsorpcija RF energije u površinskim tkivima, i potencijalno povećava SAR u dubljim tkivima [9, 10].

U prvim studijama istraživanja uticaja elektromagnetskog polja mobilnih telefona korišćeni su jednostavni modeli glave čoveka. Prvi modeli su bili u obliku sferičnih fantoma [11] i fantoma koji su imali oblik ljudske glave [12]. Sastojali su se od sloja koji je simulirao kožu i unutrašnjeg sloja koji je imao elektromagnetske karakteristike mozga (slika 2).

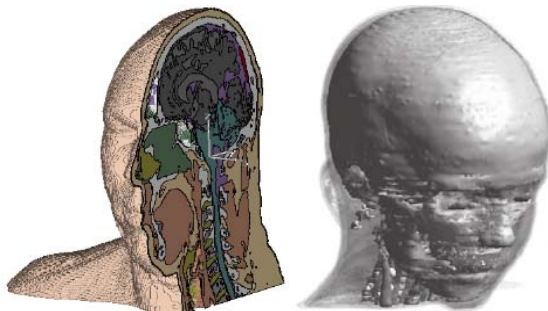
Ovako dobijeni rezultati nisu oslikavali realno stanje jer nisu uzimali u obzir stvarnu strukturu glave. Samim tim nisu uzete stvarne karakteristike svih tkiva i organa kao i granični uslovi prilikom prostiranja elektromagnetskog talasa kroz različita tkiva i organe [13, 14].

U nekim studijama, modeli glave deteta su dobijeni skaliranjem postojećih modela glave odrasle osobe [15, 16].



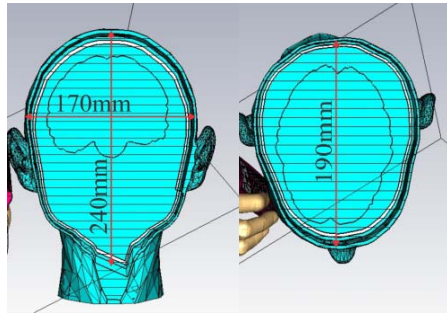
Slika 2. Jednostavni modeli glave čoveka u obliku sfernog i realnog fantoma

Mnogi numerički modeli su kreirani na osnovu snimaka magnetne rezonanse (MRI) objedinjavanjem u jedinstvenu celinu [12, 17]. Na slici 3 prikazani su neki modeli kreirani na ovaj način.

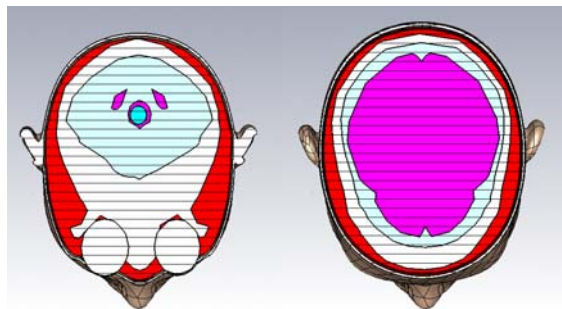


Slika 3. Modeli glave čoveka i deteta na osnovu MRI snimaka

Složeniji modeli glave čoveka su kreirani iz više slojeva [18] koji simuliraju tkiva ili organe (Slika 4) ili kreiranjem svakog tkiva i organa posebno [19] i njihovim povezivanjem u jedinstven model (Slika 5).



Slika 4. Višeslojni model

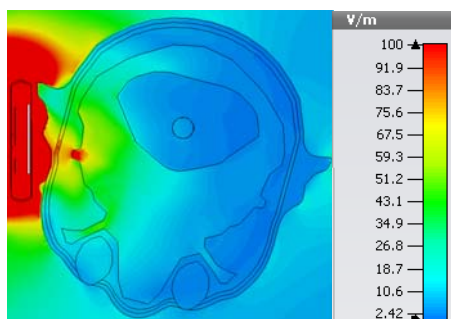


Slika 5. Model sastavljen od različitih tkiva i organa

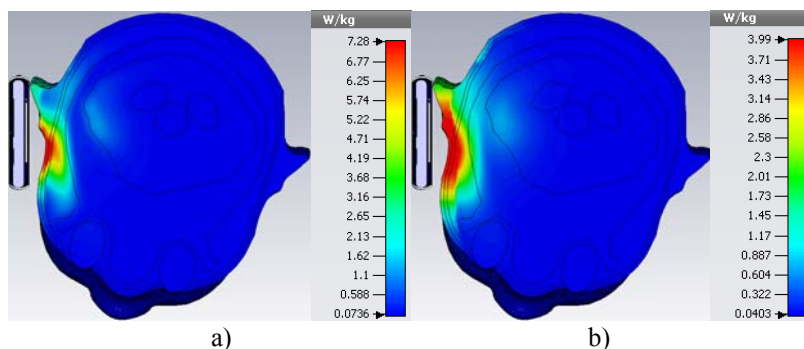
Kako bi dobijeni rezultati bili što verniji stvarnim vrednostima, neophodno je napraviti 3D model glave deteta koji će svojim anatomskim i morfološkim karakteristikama da odgovara glavi deteta.

U ovom radu korišćen je realni model glave deteta koji svojim karakteristikama odgovara sedmogodišnjem detetu. Model glave deteta sastoji se iz sledećih tkiva i organa: koža, masno tkivo, mišići, lobanja, vilica sa zubima, jezik, oči, pršljenovi, hrskavica, kičmena moždina, moždana voda, mozak i hipofiza [20, 21].

Primeri raspodele električnog polja i SAR usrednjenog za 1g i 10g za model dečije glave prikazani su na slikama 6 i 7. Za dobijanje numeričkih rezultata raspodele električnog polja i SAR korišćen je softverski paket CST [22]. Kao izvor elektromagnetnog zračenja korišćen je mobilni telefon koji po svojim karakteristikama odgovara aktuelnim pametnim telefonima. Antena mobilnog telefona je PIFA (planar inverted F antenna) antena sa sledećim parametrima: radna frekvencija je 900MHz, impedansa $Z=50\Omega$ i referentna snaga $P=1W$ [23].



Slika 6. Raspedela električnog polja $E[V/m]$ za horizontalni poprečni presek modela glave deteta



Slika 7. Raspedela a) $SAR_{1g}[W/kg]$ i b) $SAR_{10g}[W/kg]$ za horizontalni poprečni presek modela glave deteta

Kao što se sa slika može videti, vrednosti za električno polje i SAR su u određenim delovima modela glave deteta iznad standardima propisanih vrednosti, od $16,5V/m$ za jačinu električnog polja na $900MHz$ i SAR lokalizovan na glavu i trup od $2W/kg$ [24, 25].

4. Biološki efekti

Kao što je poznato, tokom razvoja tkiva su više osetljiva na uticaj spoljašnjih faktora, između ostalog i uticaju veštački stvorenog elektromagnetskog polja. Bez obzira da li se radi o deci ili odraslim osobama veliki broj istraživanja je pokazao da elektromagnetsko zračenje može da utiče negativno na zdravlje svih [26].

Budući da se EM polje mobilnih telefona emituje u neposrednoj blizini glave, potencijal za pojavu moždanih tumora izaziva zabrinutost. Većina istraživanja su usmerena na potencijalne veze između upotrebe mobilnih telefona i nekoliko vrsta tumora mozga.

Prema više švedskih studija o mobilnim telefonima i tumorima, istraživači su koristeći švedski registar raka našli dosledan obrazac povećanja rizika od glioma i akustičnog neuroma posle 10 godina upotrebe mobilnih telefona. Imajući u vidu da su dokazi za rizike od produženog korišćenja mobilnog telefona i bežičnog telefona

“prilično jaki”, istraživači su zaključili da, “Za ljude koji su koristili ove uređaje 10 godina ili duže, i kada su se uglavnom koristili na jednoj strani glave, rizik od malignog tumora na mozgu je udvostručen i još veći kod osoba koje su počele da koriste telefone pre svoje 20 godine“ [27, 28, 29, 30, 31].

Neki od efekata kod ljudi nakon izlaganja impulsnom elektromagnetskom polju uključuju smanjenje kognitivnih performansi [32] kao i potrebno duže vreme za odgovore na zadatke subjekata kada su izloženi RF zračenju standardnog GSM mobilnog telefona postavljenog pored glave [33].

Neka istraživanja bavila su se uticajem mobilnih telefona na DNK. Na primer, u istraživanju prikazanom u [34] mobilni telefon je bio postavljen na rastojanju od jednog metra od ljudskih ćelija. Pronašli su smanjenje reparacije DNK u ćelijama sa oštećenjem dvostrukog lanca DNK. Najjači efekti su zabeleženi u matičnim ćelijama. Pošto su matične ćelije aktivnije kod dece, istraživači iznose pretpostavku da deca mogu biti u povećanom riziku od dobijanja raka zbog izlaganja mobilnim telefonima

Deca mogu biti potencijalno podložna RF efektima jer se njihov nervni sistem još razvija, povećanjem nivoa ćelijske deobe nerazvijenog imunog sistema, zbog tanje lobanje i veće provodnosti moždanog tkiva. Kod dece je veća penetraciju RF talasa u odnosu na veličinu glave i duže su tokom svog života izložena zračenju u poređenju sa odraslim osobama [35].

Prema jednoj studiji, metabolizam u regionu mozga najbližeg anteni mobilnog telefona bio je značajno viši a i u korelaciji sa procenjenim višim elektromagnetskim poljem. Model mobilnog telefona u studiji je imao SAR od 0.901W/kg za glavu, što je ispod granice za SAR od mobilnog telefona. Iako u ovoj studiji nije razmatran dalji uticaj promena u metabolizmu na zdravlje ljudi, pokazano je da izloženost RF elektromagnetskom polju mobilnih telefona ima određene efekte čak i pri nivoima koji su ispod standardima propisanih vrednosti za SAR [36].

5. Zaključak

Tokom razgovora mobilnim telefonom glava korisnika se nalazi u bliskom polju zračenja antene mobilnog telefona, tako da dolazi do indukovanja elektromagnetskog polja u glavi. Elektromagnetsko polje kao i apsorbovana energija su u značajnoj meri lokalizovani u blizini antene, dok se deo energije prenosi dublje, kroz različite slojeve tkiva.

U opštim situacijama koja uključuju izlaganja u bliskom polju, dobro je poznato da uslovi izlaganja, kao što su radna frekvencija i rastojanje između elektromagnetskog izvora i izloženog objekta, igraju važnu ulogu u apsorpciji elektromagnetske energije.

Izračunate vrednosti za SAR zavise od udaljenost antene u odnosu na glavu, kao i anatomskih i morfoloških karakteristika glave svakog pojedinca. Tanje lobanje male dece kao i tanje ušne školjke, dozvoljavaju zračenju mobilnih telefona da prodru dublje u mozak nego što je to slučaj sa odraslima. Kod dece i fetusa se brže razvija nervni sistem, njihova veća brzina deobe ćelija i duže vreme potencijalne izloženosti pojačava rizike za štetne efekte po zdravlje.

Današnji tinejdžeri su prva generacija koja odrasta koristeći bežične uređaje svakodnevno pri čemu su izloženi RF zračenja od malena. Zabrinutost zbog izlaganja RF zračenju još u detinjstvu je iz više razloga: mozak deteta apsorbuje znatno veće zračenje

nego mozak odrasle osobe, anatomske razlike kod dece mogu omogućiti veću izloženost njihovih moždanih regiona RF zračenju mobilnih telefona zbog razlika u dielektričnoj konstanti i električnoj provodnosti njihovih tkiva i organa.

Dubina prodiranja elektromagnetskog polja je veća na nižim frekvencijama što za posledicu ima više vrednosti za SAR ne samo u površinskim slojevima modela glave već i dublje u mozgu glave deteta. Sa porastom frekvencije dubina prodiranja se smanjuje, tako da se najveći deo elektromagnetske energije apsorbira u površinskim slojevima glave deteta bližim izvoru zračenja.

Kako bi se uticaj elektromagnetskog zračenja smanjio potrebno je bežični uređaj dovoljno udaljiti od tela prilikom korišćenja. Osobe koje koriste bežične uređaje za tekstualne poruke, pristup internetu ili koriste "hands-free" uređaje će imati manju izloženost elektromagnetskoj energiji od onih koji drži telefon pored glave. Takođe, ukoliko nosimo mobilni telefon u tašni izloženost će biti daleko manja nego kada taj isti telefon nosimo u džepu. Ovo važi čak i u stanju pripravnosti mobilnog telefona jer je uređaj stalno u komunikaciji sa baznom stanicom.

Literatura

- [1] Cell Phones: technology, exposures, health effects, Available: http://www.ehhi.org/reports/cellphones/cell_phone_report_EHHi_Feb2012.pdf
- [2] Nielsen Wire. "Play Before Work: Games Most Popular Mobile App Category in U.S.," 2011.
- [3] A. Lenhart: "Teens, Cell Phones and Texting, Text Messaging Becomes Centerpiece Communication," Pew Internet & American Life Project, 2010.
- [4] Enabled, Engaged and Empowered How Today's Students are Leveraging Emerging Technologies for Learning, Available: [http://www.tomorrow.org/speakup/pdfs/SU10_3EofEducation\(Students\).pdf](http://www.tomorrow.org/speakup/pdfs/SU10_3EofEducation(Students).pdf)
- [5] B. Beard, W. Kainz: "Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models," *Biomed Eng Online*, Vol. 3, pp. 34, 2004.
- [6] IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans, dostupno na http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf
- [7] Dielectric properties of tissues, Available: <http://www.itis.ethz.ch/itis-for-health/tissue-properties/database/dielectric-properties/>
- [9] K. R. Foster and C. K. Chou: "Are Children More Exposed to Radio Frequency Energy From Mobile Phones Than Adults?" *IEEE Access*, Vol. 2, pp. 1497-1509, 2014.
- [10] Om P. Gandhi, "Yes the Children Are More Exposed to Radiofrequency Energy From Mobile Telephones Than Adults," *IEEE Access*, Vol.3, pp.985-988, 2015.
- [11] Sferični model fantoma, Available: <https://www.cst.com/Applications/Article/SAR-Spherical-Phantom-Model>
- [12] Model fantoma, Available: http://www.cst-korea.co.kr/Application/Bio-medical_RF_simulations_with_CST_MICROWAVE_STUDIO.pdf
- [13] N. K. Kouveliotis, S. C. Panagiotou, P. K. Varlamos, C. N. Capsalis: "Theoretical Approach of The Interaction Between a Human Head Model and a Mobile Handset Helical Antenna Using Numerical Methods," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 65, pp. 309-327, 2006.

- [14] A. Lee, H. Choi, H. Lee, J. Pack: "Human Head Size and SAR Characteristics for Handset Exposure," *ETRI Journal*, Vol. 24(2), pp.176-180, 2002.
- [15] A. Z. El Dein, A. Amr: "Specific Absorption Rate (SAR) Induced in Human Heads of Various Sizes When Using a Mobile Phone," WCE 2010: Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. 1, 2010, London, U.K.
- [16] M. Martínez-Búrdalo, A. Martín, M. Anguiano, R. Villar: "Comparison of FDTD-calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz," *Phys. Med. Biol.*, Vol. 49, pp. 345-54, 2004.
- [17] A. Christ, M-C. Gosselin, M. Christopoulou, S. Kuhn, N. Kuster, "Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users," *Phys. Med. Biol.* Vol. 55, pp. 1767–1783, 2010, doi:10.1088/0031-9155/55/7/001.
- [18] V. Stanković, D. Jovanović, D. Krstić, N. Cvetković, "Electric Field Distribution and SAR in Human Head from Mobile Phones," The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, Romania, 2015.
- [19] D. Jovanović, V. Stanković, D. Krstić, N. Cvetković: "Modeling SAR of Mobile Phone Inside User' Head," Small system simulation symposium, Niš, Serbia, 2016.
- [20] V. Stanković, D. Jovanović, D. Krstić, V. Marković, M. Dunjić, "Calculation of Electromagnetic Field from Mobile Phone Induced in the Pituitary Gland of Children Head Model," *Military Medical and Pharmaceutical Journal of Serbia*, ISSN: 0042-8450, UDC: 613.168::616.2]:[537.531::616.432-053.2, DOI: 10.2298/VSP151130279S.
- [21] V. Stanković, D. Jovanović, D. Krstić, V. Marković, N. Cvetković, "Temperature distribution and specific absorption rate inside a child's head," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 104, pp. 559-565, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.094>
- [22] CST Studio Suite 2009, Available: www.cst.com.
- [23] *IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100kHz-300GHz*, IEEE Standard C95.3-2002.
- [24] *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*, IEEE Standard C95.1-2005.
- [25] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima, *Službeni glasnik RS*, br. 36/09, decembar 2009.
- [26] V. Stanković, D. Jovanović, D. Krstić, V. Marković, N. Cvetković, "Mobile Phones and Children," *Safety Engineering*, Vol. 6, No.1, pp. 47-52, 2016. UDK 621.395-053.2, DOI: 10.7562/SE2016.6.01.07
- [27] L. Hardell, M. Carlberg, K. H. Mild: "Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases," *Pathophysiology*, Mar 4, 2009.
- [28] L. Hardell, A. Hallquist, K. H. Mild, et al.: "Cellular and Cordless Telephones and the Risk for Brain Tumors," *European Journal of Cancer Prevention*, Vol. 11, pp. 377-386, 2002.
- [29] L. Hardell, A. Hallquist, K. H. Mild, et al.: "Case-Control Study on the Use of Cellular and Cordless Phones and the Risk for Malignant Brain Tumors," *International Journal of Radiation Biology*, Vol. 78, pp.931-936, 2002.

- [30] L. Hardell, K. H. Mild, M. Carlberg, et al.: "Tumor risk associated with use of cellular telephones or cordless desktop telephones," *World J Surg Oncol*. Vol. 4, pp. 74, 2006.
- [31] L. Hardell: "Excerpt from Bioinitiative Report", 2007.
- [32] R. Maier, S. E. Greter, N. Maier: "Effects of pulsed electromagnetic fields on cognitive processes - a pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration," *Acta Neurol Scand*, Vol. 110(1, pp. 46-52), 2004.
- [33] A. Agarwal, N. R. Desai, K. Makker et al.: "Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study," *Fertil Steril.*, 2008.
- [34] E. Markova, L. Malmgren, I. Belyaev: "Microwaves from Mobile Phones Inhibit 53BP1 Focus Formation in Human Stem Cells Stronger than in Differentiated Cells: Possible Mechanistic Link to Cancer Risk," *Environ Health Perspect.*, 2009.
- [35] L. Kheifets, M. Repacholi, R. Saunders, E. van Deventer: "The sensitivity of children to electromagnetic fields," *Pediatrics*, Vol. 116(2), pp. 303-313, 2005.
- [36] N. D. Volkow, D. Tomasi, G. J. Wang: "Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism," *JAMA*, Vol. 305(8), pp. 808-813, 2011.

Zahvalnica: Rad je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije u okviru projekta III 43012.

Abstract: *The intensive use of mobile phones by children causes great concern about the possible harmful effects of electromagnetic radiation. This paper presents the habit of using mobile phones by children and teenagers as well as the possible harmful biological effects. The human body consists of different biological tissues and organs and for each of them it is necessary to describe the corresponding electromagnetic characteristics. This paper also provides an overview of different models of adults and children that are used for numerical calculation of electromagnetic field penetration and absorbed energy. On the basis of obtained results, it is possible to carry out certain conclusions about children's exposure to electromagnetic radiation of mobile phones.*

Keywords: *Mobile phone, Electromagnetic properties of tissues, Model of child head, Specific absorption rate*

**EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELD OF
MOBILE PHONE ON CHILDREN**
Vera Marković, Vladimir Stanković