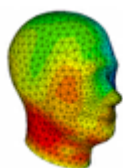


Simulácia absorpcie rádiových polí v modeloch ľudskej hlavy

Kupec Peter · Elektrotechnika, Medicína

12.01.2011



V posledných rokoch používame čoraz väčšie množstvo rôznych zariadení pracujúcich v rádiovom (RF) pásme spektra elektromagnetického žiarenia. S nárastom ich používania sa viac a viac vynára otázka bezpečnosti vplyvov RF polí na populáciu, a to najmä na mladých ľudí a deti. Článok sa zaoberá absorpciou RF poľa v modeloch ľudskej hlavy rôznych veľkostí a tvarov pomocou simulátora CST Microwave Studio.

Priestorové rozloženie špecifickej miery absorpcie (SAR) sa hodnotilo pre modely rôznych tvarov: sférický, valcový, realisticky tvarovaný (model SAM). Pre zjednodušenie modely pozostávajú iba z materiálu s elektrickými parametrami šedej mozgovej hmoty. Všeobecne platí, že absorpcia závisí nelineárne od frekvencie, preto bolo potrebné preskúmať širšie frekvenčné pásmo.

Úvod

Zvyšujúce sa používanie zariadení vyžarujúcich rádiové (RF) elektromagnetické polia ako napríklad v domácnostiach (mikrovlnné rúry), priemyselných a komunikačných zariadeniach (mobilné telefóny, atď.), je sprevádzané nárastom odborných štúdií zameraných na zdravotné aspekty týchto polí [1] - [7]. Nadmerne veľká absorpcia by mohla v spôsobiť zvýšenie teploty v tkanivách [8] - [10], napr. mozgu, a nepriaznivo ovplyvniť činnosť tkanív a orgánov v týchto oblastiach. Boli pozorované rôzne neurologické účinky RF polí [4] - [7], napr. RF polia vyžarované mobilnými telefónmi môžu ovplyvniť činnosť mozgu a to najmä pri úlohách, ktoré vyžadujú pozornosť a manipuláciu s informáciami v pamäti [5] - [7].

Pri simuláciách absorpcie RF polí v oblasti hlavy boli spočiatku použité jednoduché modely, ako guľa, kváder, valec. Neskôr sa začali používať i členitejšie, realisticky tvarované antropomorfné modely [11], ktoré už presnejšie modelovali ľudskú hlavu. V súčasnosti sa používajú i modely anatomicky členené, ktoré v sebe zahŕňajú aj materiály jednotlivých tkanív [12].

Výška absorpcie energie RF polí v tkanivách je opísaná dôležitou dozimetrickou veličinou: špecifickou mierou absorpcie (Specific Absorption Rate, SAR). SAR [W/kg] závisí od hodnoty elektrického poľa a príslušných materiálových vlastností tkanív v danom mieste podľa nasledujúceho vzťahu [2]:

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

kde σ je elektrická vodivosť tkaniva [S/m], ρ je hustota [kg/m³] biologického tkaniva a E je efektívna hodnota intenzity elektrického poľa [V/m] v danom bode vo vnútri organizmu. Popri lokálnej hodnote SAR sa používajú aj priemerné hodnoty SAR vypočítavané podľa [10]:

$$SAR_{avg} = \frac{1}{V} \int_V SAR \cdot dv \quad (2)$$

kde V je objem [m³] biologického tkaniva so špecifikovanou hmotnosťou v rámci ktorého je SAR spriemerované:

- v prípade celo-telového priemerného SAR je V objem celého tela;
- v prípade 10 g (alebo 1 g) SAR je V objemom tkaniva s hmotnosťou 10 g (alebo 1 g).

Parametre simulácií

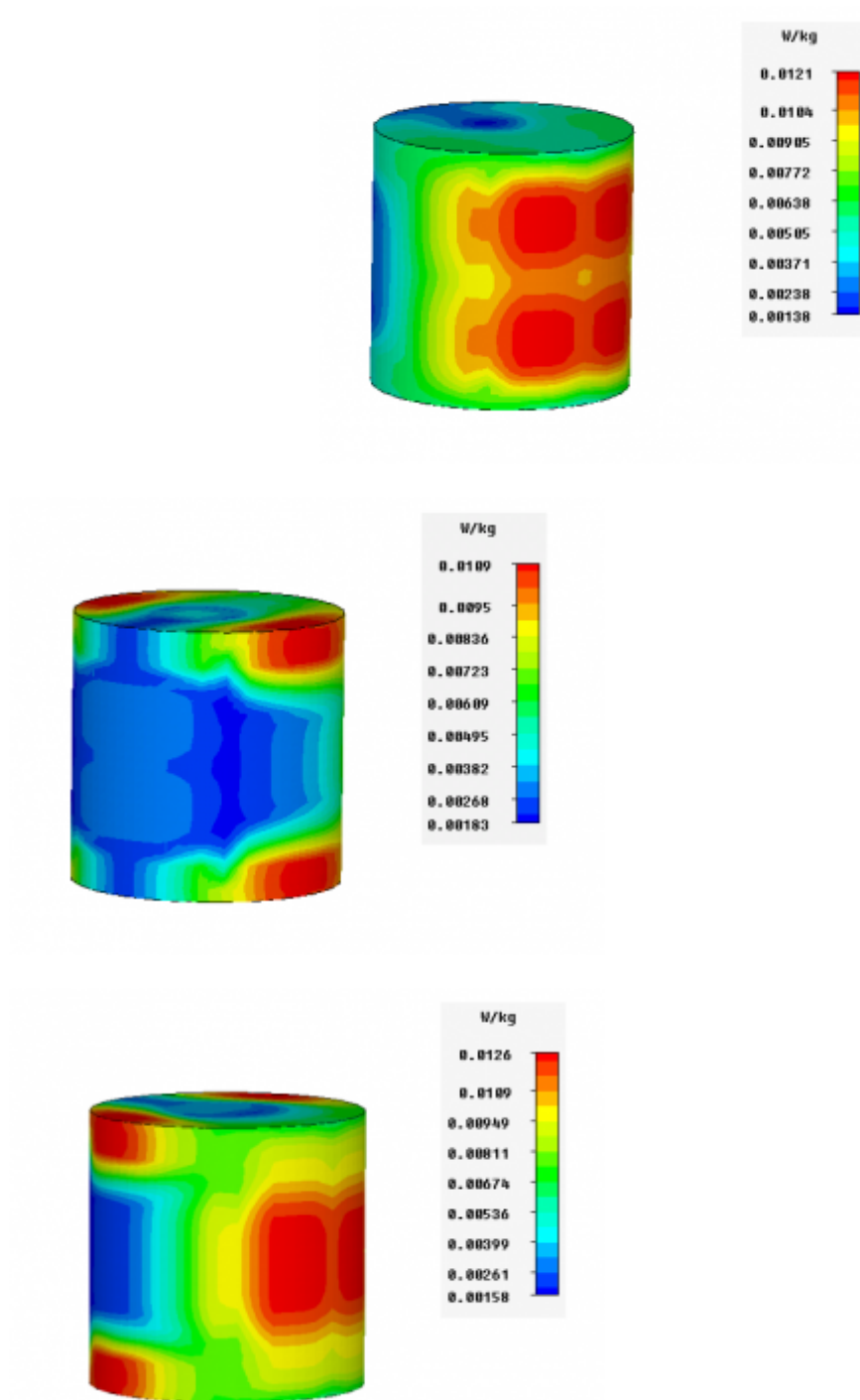
Presnosť simulácií absorpcie RF elektromagnetického poľa v ľudskom tele závisí od mnohých parametrov ako napríklad: tvar modelu, materiálové parametre, použité numerické metódy [10], [12] - [14]. V článku sa hodnotí špecifická miera absorpcie (SAR) pre modely hlavy rôznych tvarov: sférický (guľový), cylindrický (valcový), realistický tvar (model SAM). Vyhodnocuje sa SAR pre rôzne výšky modelov, ktoré predstavujú ľudskú hlavu novorodenca, dieťaťa a dospeljej osoby. Simulácie boli vykonané v časovej oblasti v prostredí simulačného programu CST Microwave Studio [15].

Vzhľadom k tomu, že absorpcia RF polí závisí nelineárne od frekvencie, boli vyhodnotené celotelovo-spriemerné hodnoty SAR (total SAR) vo frekvenčnom rozsahu od 100 MHz do 1 000 MHz. Cieľom bolo tiež nájsť hodnotu tzv. "rezonančnej frekvencie", t. j. frekvencie, pri ktorej SAR dosahuje svoje prvé význačné maximum na začiatku RF pásma pri tzv. E-polarizácii [2] (keď smer elektrickej zložky poľa je paralelný s osou tela).

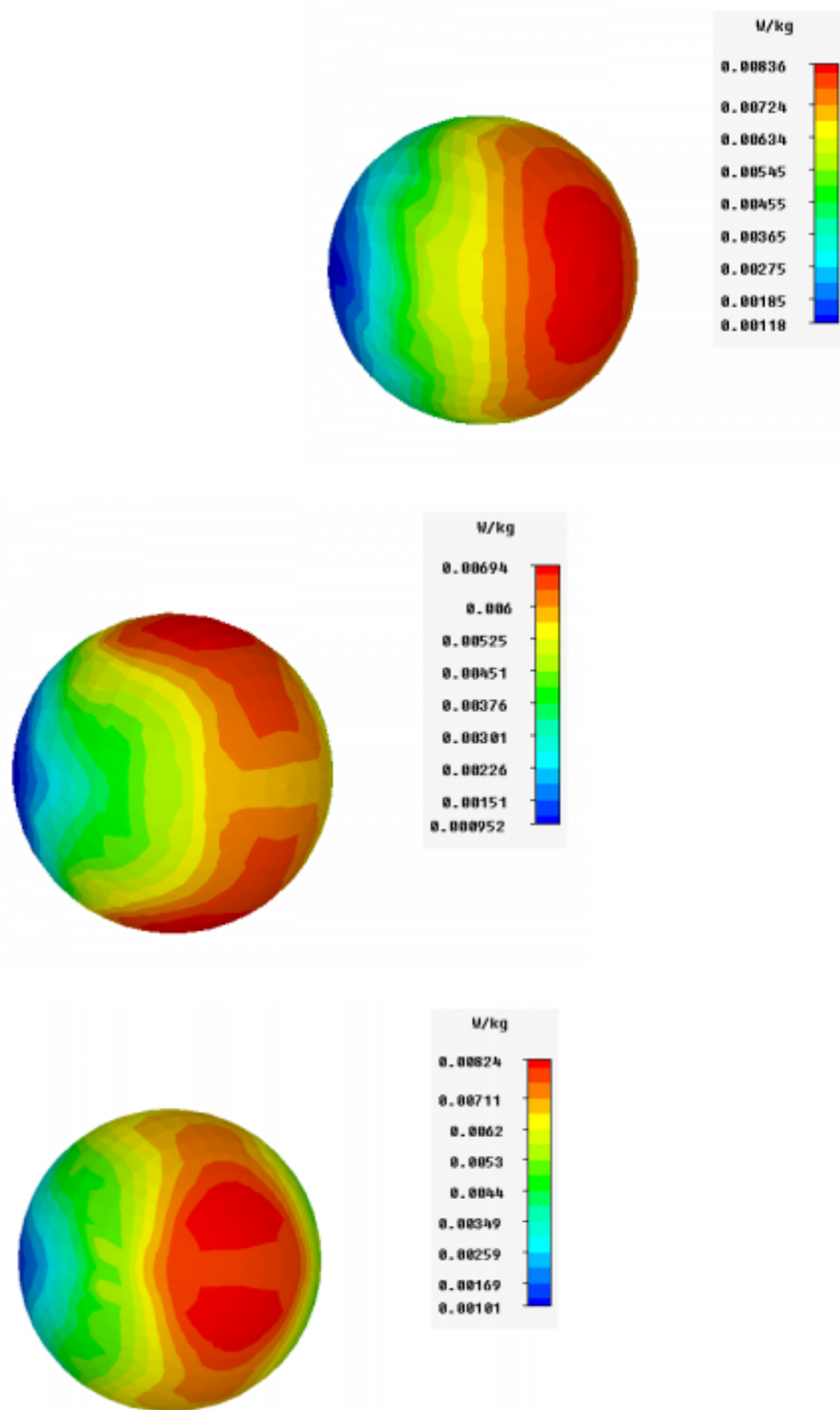
V simuláciách boli jednotlivé modely hlavy vystavené RF poľu s charakterom rovinatej vlny s výkonovou hustotou 1 W/m². Pre jednoduchosť boli použité modely pozostávajúce iba z materiálu s elektrickými parametrami šedej mozgovej hmoty (BGM) a hustota tkaniva bola zvolená 1030 kg/m³. Materiálové parametre (permitivita a elektrická vodivosť) boli stanovené v závislosti od frekvencie podľa [9]. Šírka modelu pri jednoduchých modeloch (guľový a valcový) bola rovná výške modelu (h).

Výsledky simulácií

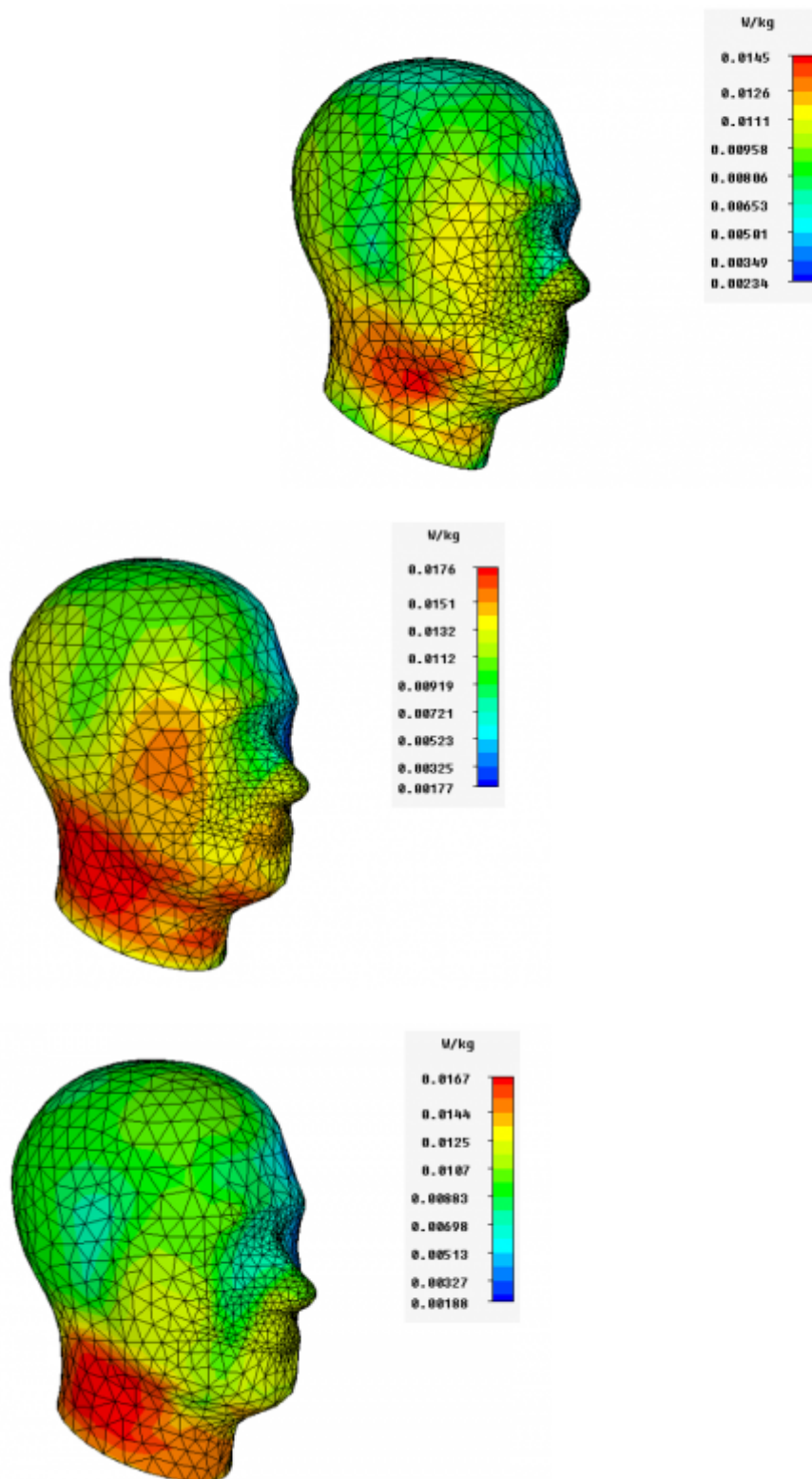
Simulované priestorové rozloženia SAR (10 g) pre valcový, guľový a model SAM ľudskej hlavy sú pri vybraných frekvenciách a vybranej výške $h = 20$ cm zobrazené na obr. 1 až obr. 3.



Obr. 1: Rozloženie SAR (10 g) vo valcovom modeli s výškou $h = 20$ cm pri frekvencii 350 MHz, 550 MHz a 700 MHz.



Obr. 2: Rozloženie SAR (10 g) v guľovom modeli s výškou $h = 20$ cm pri frekvencii 450 MHz, 700 MHz a 800 MHz.



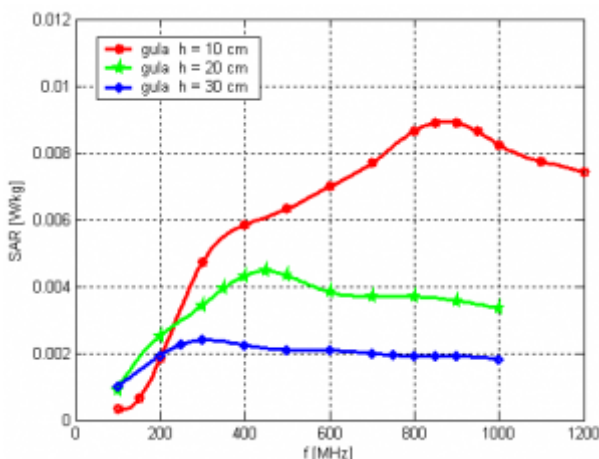
Obr. 3: Rozloženie SAR (10 g) v SAM modeli s výškou $h = 20$ cm pri frekvencii 450 MHz, 700 MHz a 900 MHz.

Hodnoty SAR (celotelovo spriemerené hodnoty) pre valcový, guľový a model SAM ľudskej hlavy získané simuláciami pre vybrané spektrum frekvencií sú zobrazené na obr. 4 až obr. 6.

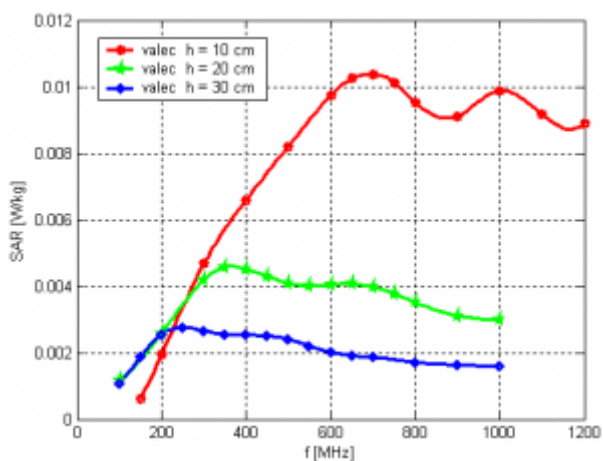
Hodnoty rezonančnej frekvencie pre guľový model s rôznou výškou môžeme orientačne odčítať z obr. 4: pre výšku $h = 10$ cm je rezonančná frekvencia okolo 900 MHz, pre $h = 20$ cm je to 450 MHz a pre $h = 30$ cm je to hodnota 300 MHz. Podobne z

obr. 5 môžeme odčítať rezonančné frekvencie pre valcový model s rôznou výškou, a to nasledovne: pre $h = 10$ cm je rezonančná frekvencia okolo 700 MHz, pre $h = 20$ cm je to hodnota 350 MHz a pre $h = 30$ cm je rezonančná frekvencia okolo 250 MHz. Pre SAM model s rôznou výškou môžeme odčítať rezonančné frekvencie z obr. 6, a to: pre $h = 20$ cm je rezonančná frekvencia okolo 450 MHz, a pre $h = 30$ cm je rezonančná frekvencia okolo 350 MHz.

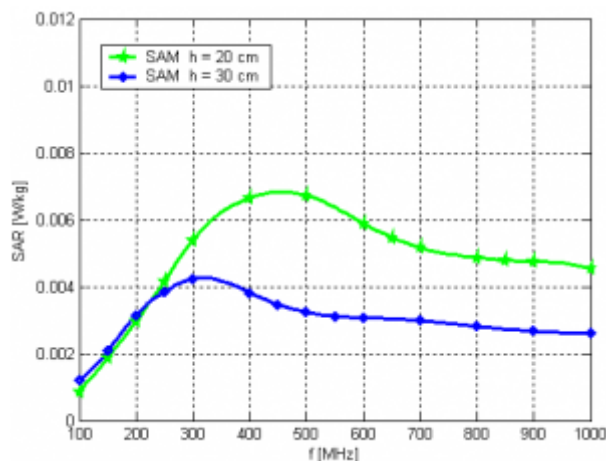
Veľkosť výslednej absorpcie pri guľových a valcových modeloch bola pri rovnakých výškach modelov porovnateľná, avšak s veľkosťou absorpcie pri modeli SAM ju nie je možné priamo zrovnávať, nakoľko výška a šírka pri tomto modeli neboli navzájom totožné a šírka modelu má na veľkosť absorpcie tiež výrazný vplyv [16].



Obr. 4: Závislosť normovanej priemernej hodnoty SAR od frekvencie pre guľový model.



Obr. 5: Závislosť normovanej priemernej hodnoty SAR od frekvencie pre valcový model.



Obr. 6: Závislosť normovanej priemernenej hodnoty SAR od frekvencie pre SAM model.

Záver

Výsledky simulácií ukázali, že rezonančná frekvencia závisí od veľkosti ľudskej hlavy: čím menšia je výška hlavy, tým vyššia je rezonančná frekvencia a tým vyššia je tiež absorpcia RF poľa. V porovnaní simulácií objektov hranatejších oproti oblejším bolo pri vyšších frekvenciách žiarenie absorbované zväčša na hranách. U SAM modelu najviac žiarenia absorbovala oblasť krku, keďže je geometricky oproti iným partiám užšia.

Literatúra

1. Stavroulakis, P.: Biological effects of electromagnetic fields. Springer - Verlag, Berlin, 2003.
2. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Environmental Health Criteria 137. World Health Organization, Geneva, 1993.
3. Cocherová, E. - Šurda, J. - Ondráček, O. - Štofanič, V.: RF field orientation influence on the specific absorption rate in a biological object. In: Proceedings of the 14th Conference on Microwave Techniques "COMITE 2008", Prague, April 23-24, 2008, pp. 261-263.
4. Hermann, D. M. - Hossmann, K. A.: Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. J. Neurol. Sci., 1997, Vol. 152, pp. 1-14.
5. Koivisto, M. - Krause, C. M. - Revonsuo, A. - Laine, M. - Hamalainen, H.: The effects of electromagnetic-field emitted by GSM phones on working-memory. Neuroreport, 2000, Vol. 11, pp. 1641-1643.
6. Krause, C. M. - Pesonen, M. - Haarala, B. C. - Hamalainen, H.: Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing. Bioelectromagnetics, 2007, Vol. 28, pp. 296-308.
7. Luria, R. - Eliyahu, I. - Hareuveny, R. - Margaliot, M. - Meiran, N.: Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: The influence of exposure side and time. Bioelectromagnetics, Vol. 30, 2009, pp. 198-204.
8. Ibrahim, A. - Dale, C. - Tabbara, W. - Wiart, J.: Analysis of the temperature increase linked to the power induced by RF source. Progress In Electromagnetics Research, PIER 52, 2005, pp. 23-46.
9. Drizdal, T. - Togni, P. - Visek, L. - Vrba, J.: Comparison of constant and temperature dependent blood perfusion in temperature prediction for superficial hyperthermia. Radioengineering, Vol. 19, N. 2, 2010, pp. 281-289.

10. Cocherová, E. - Štofanič, V.: Numerické metódy riešenia bioelektromagnetických polí. Nakladateľstvo STU, Bratislava, 2010, ISBN 978-80-227-3272-7.
 11. Kainz, W. - Christ, A. - Kellom, T. - Seidman, S. - Nikoloski, N. - Beard, B. - Kuster, N.: Dosimetric comparison of the specific anthropomorphic mannequin (SAM) to 14 anatomical head models using a novel definition for the mobile phone positioning. *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 50, 2005, pp. 3423-3445.
 12. Hirata, A. - Kodera, S. - Wang, J. - Osamu Fujiwara, O.: Dominant factors influencing whole-body average SAR due to far-field exposure in whole-body resonance frequency and GHz regions. *Bioelectromagnetics*, Vol. 28, 2007, pp. 484-487
 13. Raida, Z. a kol.: Analýza mikrovlnných štruktúr v časovej oblasti, VUT v Brně, Brno, 2004
 14. Gabriel, C. - Gabriel, S.: Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies. 1997, [online], [15.10.2007]
<<http://niremf.ifac.cnr.it/docs/DIELECTRIC/home.html>>
 15. CST Microwave Studio. <<http://www.cst.com/>>
 16. Cocherová, E. - Šurda, J. - Púčik, J. - Štofanič, V.: Dependence of the RF field absorption on the human body dimensions, In: Proceedings of 19th International Conference "Radioelektronika 2009", Bratislava, April 22-23, 2009, pp. 327 - 329.
-