

Joó Ervin, Dr. Szász András, Dr. Szendrő Péter*

A mobiltelefonokból származó elektromágneses expozíció alakulása 900/1800/2100 MHz frekvencián**

1. Bevezetés

Az elektromágneses (EM) környezet gyors változása, az ezzel kapcsolatos köz- és foglalkozás-egészségügyi problémák megjelenése és a vonatkozó tudományos kutatás folyamatos versenyben állnak egymással. A mobil távközléssel kapcsolatos rendkívül gyors technikai fejlődés megelőzi az utóbbiakat.

A tipikus háztartásban és munkahelyen az embert érő egyik legnagyobb sugárforrás a mobiltelefon. Az előfizetők száma Magyarországon a 90-es évektől dinamikusan nőtt és 2004 áprilisára a három szolgáltatónál összesen elérte a 8.096.000 előfizetőt [Figyelő 2004]. A lokális expozíció értéke nagyságrendekkel nagyobb, mint a rendeltetészerűen használt háztartási eszközökből vagy számítógépekből származó, elérheti a 1000-1500 W/cm² értéket is [Thuróczy és Bakos 2002]. A sugárzásra jellemző, hogy közeltéri (emiatt nehezen meghatározható) és az elnyelődés határfoka viszonylag nagy (40-70%), így a rádiófrekvenciás (RF) terek humán hatásának jellemzésére szolgáló paraméter az egységnyi tömegben elnyelt teljesítmény (**Specific Absorption Rate**)

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

is jelentős lehet, ahol E [V/m] a maximális elektromos térerősség a testben, S [S/m] a szövetek vezetőképessége és ρ [kg/m³] a sűrűsége.

Az EM hullámok és a biológiai anyag kölcsönhatása rendkívül összetett, mivel az anyag és az EM hullám kölcsönösen megváltoztatják egymás tulajdonságait, amit az élő anyag szabályozó mechanizmusa (vérkeringés, izadás, légzés, stb.) tovább befolyásol. A nagyfrekvenciás terek és az élő szervezet kölcsönhatása közben az élő anyagban energia abszorbeálódik. Az emberi testben elnyelődött energia nagymértékben függ nem csak a beeső EM terek paramétereitől (frekvencia, teljesítménysűrűség, polarizáció, közel- vagy távotér, stb.), hanem az exponált test jellemzőitől (mérete, belső és külső geometriája, a szövetek dielektromos jellemzői, ruházata, stb.), valamint a közelében elhelyezkedő objektumok reflexiók tényezőjétől is.

A SAR korlátozásait az Európai Unióban az 519/1999 EC

* Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar

** A kutatás az OTKA T 043385 támogatásával készült

az Egyesült Államokban az ANSI/IEEE C95.1-1992 sugárvédelmi irányelvek tartalmazzák (1. táblázat). A szabványokról elmondható, hogy ún. megengedhető határértékeket (expozíciós korlátokat) határoznak meg, amelyek alapját az addig összegyűjtött adatok képezik, a határértékek megállapításánál biztonsági faktorokat alkalmaznak. A sugárterhelések tárgyalásában különbséget tesznek a lakossági (general public) és a foglalkozási (occupational) expozíció között. Egyes szabványok és ajánlások a foglalkozási, ill. lakossági kifejezések helyett az ún. ellenőrzött (controlled) és nem ellenőrzött (uncontrolled) expozíciós területek kifejezéseket használják. A mért vagy számított pillanatnyi SAR értékeket időben és az emberi szövet adott tömegére átlagolják [Thuróczy 1996, 1998, Thuróczy és Bakos 2002].

Az ember-mobiltelefon kölcsönhatás vizsgálatakor a tanulmányok döntő többsége a fejben abszorbeált energia nagyságának meghatározására koncentrálnak. A modellezések és mérések során általában életnagyságú, a szövetek elhelyezkedése és inhomogenitása tekintetében realisztikus modelleket használnak. Az utóbbi időben azonban a gyermekek mobilhasználatának növekedés miatt felvetődik a gyermekmodell szükségessége is, mivel a Stewart jelentés [IEGMP 2000] alapján feltételezik, hogy a telefonból származó RF sugárzás másképp hat a gyermekekre, mint a felnőttekre. A jelentés szerint mivel az átlagos gyermekfej kisebb, mint a felnőtté, emiatt az EM terek behatolási mélysége, így az agyban abszorbeált energia is nagyobb. Ezt az állítást támasztja alá Gandhi és Kang [2001], akik nagyobb behatolási mélység mellett nagyobb 1 g-ra átlagolt SAR-t figyeltek meg. Különböző felnőtt fejmodelleken számos szimulációt végeztek, ahol inhomogén (szövetek tekintetében differenciált kísérleti és numerikus fantomok) és homogén modelleket hasonlítottak össze [Hombach et al. 1996, Okoniewski és Stuchy 1996], valamint gyermek és felnőtt modelleket is vizsgáltak [Hombach et al. 1996, Okoniewski és Stuchy 1996] eltérő eredménnyel. Amíg Hombach [1996] szerint a sugárforrás közelsége miatt a fejben mérete és alakja nem befolyásolja a kialakuló maximális SAR értéket és a homogén modell csak kismértékben becsüli túl a kialakuló maximális SAR-t, addig Gandhi et al. [1996] eredményeinek alapján nagyobb behatolási mélység mellett mind az egy cellára, mind az 1g-ra vonatkoztatott SAR érték (SAR_{1g}) gyermek esetében nagyobb, különösen 835 MHz frekvencián. Schönborn et al. [1998] sugárforrásként mobiltelefon helyett 0.45 hullámhosszú dipólt használt, és MRI alapú felnőtt és gyermek modelleken vég-

1. táblázat

Az SAR-ra vonatkozó lakossági és foglalkozási korlátozások [1999/519/EC 1999, ANSI/IEEE 1992]

Szabvány	Frekvencia-tartomány	Lakossági SAR [W/kg]	Foglalkozási SAR [W/kg]	Átlagolási idő (min)	Átlagolási tömeg (g)
1999/519/EC	100 kHz-10 GHz	2	10	6	10
ANSI/IEEE C95.1-1992	30 kHz-300 GHz	1,6	8	30	1

zett el szimulációkat 900 és 1800 MHz-en. Azt találta, hogy nincs különbség az EM energia elnyelése között, továbbá elég elvégezni a mobiltelefon tesztek egy héjfantomon, mivel ez jól reprezentálja az ún. worst-case szituációt. Wang és Fujiwara [2000, 2003] szerint az egymásnak ellentmondó eredmények valószínűleg a numerikus számítás során az eltérő peremfeltétel alkalmazásából származtak. Wang et al. [1998] 1,5 GHz-es mobiltelefonok hatását vizsgálta az általuk készített szemüveget viselő szövetek tekintetében differenciált fejmodellre. Eredményeik alapján 1,2-szeres növekedést találtak a fej maximális SAR_{10g}-jában és 2,75-szöröst a szem maximális SAR_{1g} értékében. Az SAR növekedését a szemüveg szárban indukálódó áramnak tulajdonítják.

Megfigyeltük, hogy a korábban alkalmazott modellezési eljárásoknak számos hiányossága van:

- több esetben nem veszik figyelembe az adott frekvenciára jellemző sugárzási teljesítmény nagyságát,
- a telefon – fej távolságot különböző fejméretek esetén is egyformára állítják be, ezzel figyelmen kívül hagyják, hogy a telefont többnyire a fülhöz érintve használják,
- gyakran a modellezést dipóllal hajtják végre, pedig a telefonok közt nagyon gyakori a monopol antennás megoldás, ami azt jelenti, hogy a telefon különböző tartási helyzeteit – a fej hossz tengelyéhez viszonyítva – megvizsgálva a telefon hangszóróját, mint forgáspontot tekintve észre kell vennünk, hogy telefon legjobban sugárzó része a különböző fejméretek esetén akár kívül is kerülhet a fülön,
- sok esetben csak a telefon fejhez viszonyított egy adott helyzetét vizsgálták.

Vizsgálataink során különböző méretű emberi fejben 900 MHz, 1800 MHz és a 2005-ben hazánkban is bevezetni kívánt 3G-s 2100 MHz-es frekvenciával sugárzó rádiótelefonok hatására kialakuló SAR eloszlást modelleztük, melynek fő célja annak megállapítása, hogy van-e különbség a gyermek és felnőtt fej közt az energia abszorpció szempontjából. Mivel az EM terek hatásait nemcsak a fejméretek, hanem a viselt ruházat (pl. fémkeretes szemüveg) ill. az esetlegesen beültetett fém implantátumok és a telefon helyzete is befolyásolhatják, ezért az említett tényezők expozíció módosító hatására is kiterjesztettük vizsgálatainkat.

2. A vizsgálatok köre és módszere

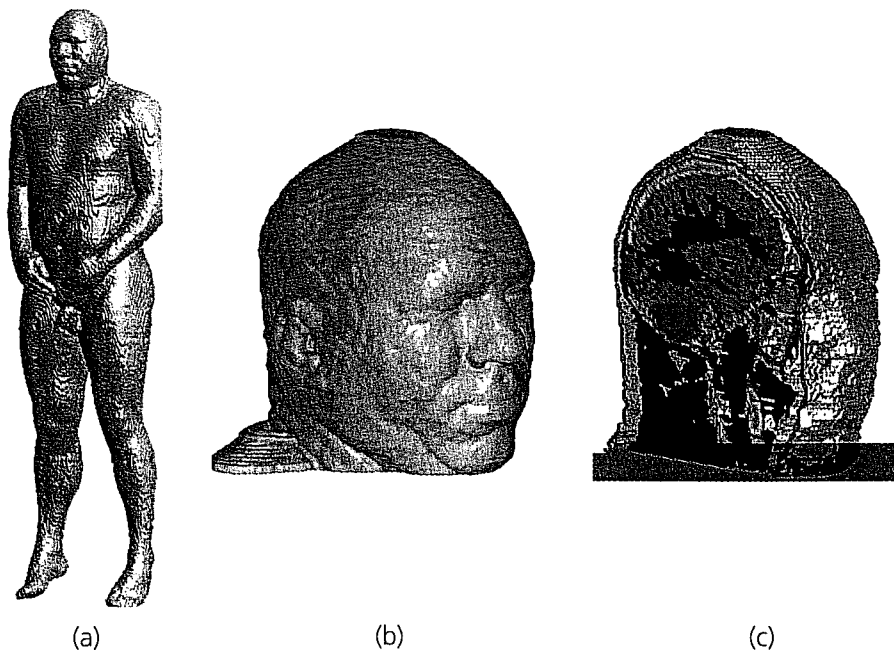
Telefonálás illetve a telefon-pozíció meghatározása közben az antenna által kibocsátott RF sugárzás egy része behatol a testbe a másik része pedig a szabad térbe sugárzódik. Az elektromos (E) mező – és ezen keresztül az SAR – meghatározásához meg kell oldanunk Maxwell egyenleteit. Az egyenletek analitikus megoldása csak olyan egyszerűbb alakzatokra létezik, mint gömb, henger vagy ellipszoid. Alternatívát jelent az egyenletek diszkrét, közelítő megoldása FDTD (Finite Difference Time Domain) módszerrel [Taflove és Hagness 2002, Kunz és Lübbers 1992, Sullivan 2000, Iványi 2003]. Ennek alapja Maxwell örvényekre vonatkozó egyenleteinek eltoló rácsú (Yee cella) Descartes-féle koordinárendszer segítségével felírt leap-frog (térbeli és időbeli centrális) differenciálása, amely bizonyos feltételekkel kielégíti Maxwell forrásokra vonatkozó egyenleteit is. A modellezni kívánt testet Yee cellákból felépített geometriával közelítjük. Ha a cellaméretet a hullámhossz 1/10-re választjuk, az időlépésre vonatkozó Courant stabilitási feltételt szem előtt tartjuk [Taflove és Hagness 2002], a modellezés futtatásának időtartamát pedig úgy határozzuk meg, hogy 50 lépésenként figyeljük az SAR értékét, és amikor két egymást követő mintavétel után a két SAR érték közti különbség kevesebb, mint 1 %, befejezzük a futtatást, akkor tapasztalataink alapján kielégítő pontosságú eredményt kapunk.

Szimulációink során a mobiltelefon egyszerűsített – de a validáló mérések és szimulációk alapján megfelelő – modelljét készítettük el [Joó és Szász 2004]. Az aktuális emissziós feltételek elérése érdekében figyelembe vettük az adott frekvenciánál alkalmazott átlagos sugárzási teljesítmény értékét (900 MHz – 0,25 W; 1800 MHz – 0,125 W; 2100 MHz – 0,125 W). A telefon minden esetben úgy volt beállítva a fejhez viszonyítva, hogy éppen hozzáért a fülhöz.

Az emberi szövetek az anyag elektromos tulajdonságait tekintve meglehetősen bonyolultak, mágneses tulajdonságait tekintve közelítőleg megegyeznek a légtérrel. A fej geometriáját és az adott pontban elhelyezkedő szövet azonosítását az MRI-vel készített metszetek segítsé-

1. ábra

Saját kóddal előállított dielektromos jellemzőket tartalmazó modell megjelenítése
(a) egész test modell (b) csonkolt modell (c) a csonkolt modell szöveti differenciáltsága



2. táblázat

A szimulált szövetek sűrűsége és elektromos tulajdonságai

Szövet típus	ρ [kg/m ³]	900 MHz		1800 MHz		2100 MHz	
		ϵ_r	σ [S/m]	ϵ_r	σ [S/m]	ϵ_r	σ [S/m]
bőr	1125	41,4052	0,866751	38,8718	1,18474	38,4307	1,30749
cerebrospinális folyadék	1007,2	68,6386	1,53791	67,2006	2,92361	66,7642	3,15413
csont	1990	12,4636	0,143312	11,7805	0,275214	11,5915	0,32813
csont (szivacsos csont)	1920	20,7877	0,339994	19,3429	0,588266	18,9627	0,68515
csont (velőállomány)	1040	5,50438	1,63617	5,37164	0,068487	5,33621	0,08017
fehérállomány	1038	38,8863	0,590799	37,0109	0,914938	36,5998	1,04655
fog	2160	12,4536	1,08	11,7805	0,275214	11,5915	0,32813
ideg (gerinc)	1038	32,5306	0,573681	30,8672	0,842886	30,5136	0,950829
ín	1220	45,8254	0,718356	44,2507	1,20074	43,7354	1,41148
izom	1046,85	55,0319	0,942965	53,5492	1,34099	53,1633	1,51354
kisagy	1038	49,4441	1,26278	46,1138	1,70887	45,4623	1,88219
levegő	1,3	1	0	1	0	1	0
mirigyek	1050	59,6837	1,03852	58,1424	1,50094	57,7048	1,70332
muscos membrán	1040	46,0813	0,844813	43,851	1,23221	43,3651	1,38992
nyirok	1040	59,6837	1,03852	58,1424	1,50094	57,7048	1,70332
porc	1097	42,653	0,782389	40,2149	1,2869	39,5352	1,49393
szem (nedvek)	1008,9	68,9018	2,41262	68,5733	2,03249	68,4179	2,22185
szem (szaruhártya)	1070	55,2354	1,39429	52,7678	1,85821	52,2102	2,04944
szem (szemfehérje)	1026	55,2706	0,79339	53,5681	1,60183	53,1254	1,78921
szemlencse	1053	46,5727	0,942257	45,3528	1,14733	45,014	1,30197
szürkeállomány	1038	52,7252	0,143312	50,0792	1,39125	49,5098	1,57381
testnedvek	1010	68,9018	1,63617	68,5733	2,03249	68,4179	2,22185
vér	1058	61,3603	1,16684	59,3721	2,04349	58,8511	2,26133
vérérdények	1040	44,7752	0,696131	43,3433	1,06577	42,9635	1,22625
zsír	916	5,46195	0,051043	5,34938	0,078388	5,31688	0,089858

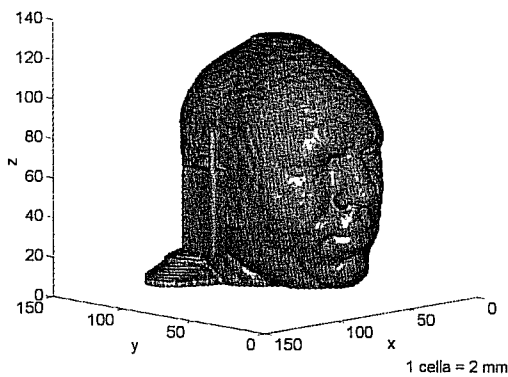
gével rekonstruáltak. Az adatokat a Radio Frequency Radiation Branch által [Masson et al. 2000] 25 szövettípus megkülönböztetésével elkészített 2 mm felbontású szövetmodelljéből vettük (ún. Visible Human Image Set, http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html), melyből a számunkra szükséges részt a vállaknál és a nyaknál csonkítottuk (1. ábra). A teljes 2 mm rácsoztású modell 293 x 170 x 939, míg a csonkolt modell 140 x 145 x 140 (2.842.000 cella) felbontású. A szövetek paramétereit a kívánt (900/1800/2100 MHz) frekvenciákon a <http://niremf.iroec.cnr.it/tissprop> lapon hozzáférhető Gabriel [1996] 4 Cole-Cole paraméterein alapuló programmal határoztuk meg. A szövettípusok modelle-

zés szempontjából fontos tulajdonságai követhetők figyelemmel a 2. táblázatban. A gyermekfejek modelljeit a már meglévő felnőtt emberfejmodell cellaméretének változtatásával hoztuk létre. A NIST [1977] alapján 9-10 éves gyermekfej modell esetében 0,88-as, 2-3 évesnél 0,78-as tényezővel kell szorozni a cellaméretet.

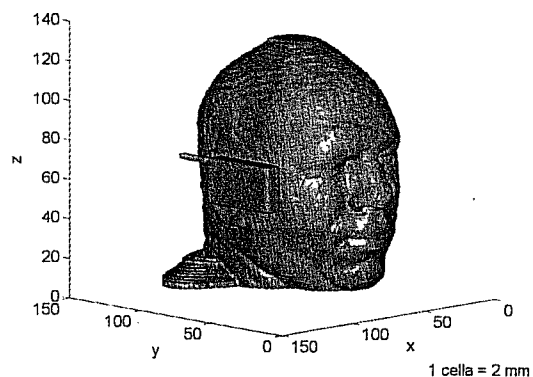
A gyermek és felnőtt fej modellezésénél azonos szövetjellemzőket használtunk, és eltekintettünk a szövetek diszperzív tulajdonságától. A szemüvegszárát és a lencsét körülvevő keretet PEC-ként (**perfect electric conductor**) modelleztük, a lencse kivitelezéséhez a PVC elektromos jellemzőit használtuk fel ($\epsilon_r = 2.46$, $\sigma = 4.46 \cdot 10^{-4}$ S/m).

2. ábra

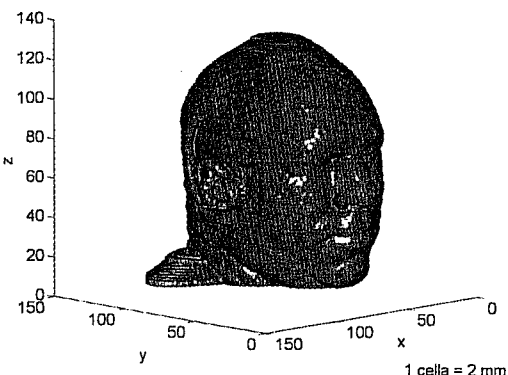
A jellemző modellezési beállítások



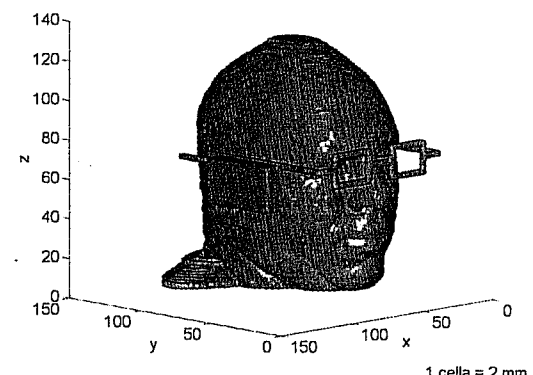
felnőtt fej függőlegesen tartott mobiltelefonnal



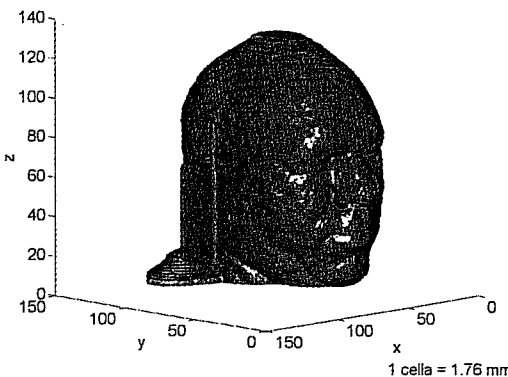
felnőtt fej vízszintesen tartott mobiltelefonnal



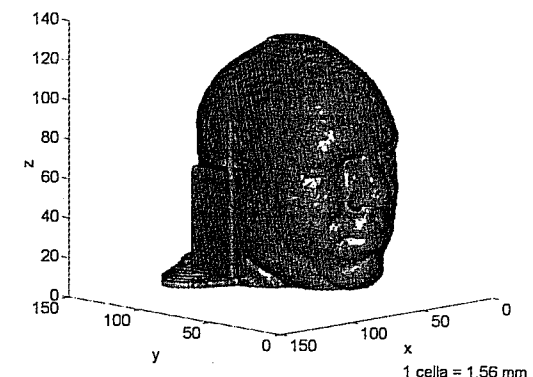
felnőtt fej implantátummal (mobil ábrázolása nélkül)



felnőtt fej mobiltelefonnal és szemüveggel



8-10 éves gyermek függőlegesen tartott telefonnal



2-3 éves gyermek függőlegesen tartott telefonnal

A fém implantátumot a fül mögé helyeztük el úgy, hogy 10 cm-es átmérőben a bőr alatt a csontot fémmel (PEC) helyettesítettük. A telefont az emberi test hossz tengelyét tekintve függőleges és vízszintes helyzetbe forgatva szimuláltuk. Az említett lehetőségeket figyelembe véve (3 db frekvencia, 3 db fejmodell, 2 db telefon beállítás, esetleges implantátum és szemüveg viselése együtt és külön-külön) 72 féle modellezési beállítást eredményezett. A jellemző modellezési beállítások láthatóak a 2. ábrán. Az ábrán figyelemmel kísérhető, hogy a fejméretek csökkenésével a változatlan méretű telefon nagyobb-nak tűnik. A modellezést 9 db 2.4 GHz órajelű 500 MB RAM-mal rendelkező HP Workstation-ön és 1 db 1.3 GHz órajelű Intel Celeron processzorral valamint 1.5 GB RAM-mal ellátott számítógépen végeztük. A modell méretétől és a hardver konfigurációtól függően egy modell-

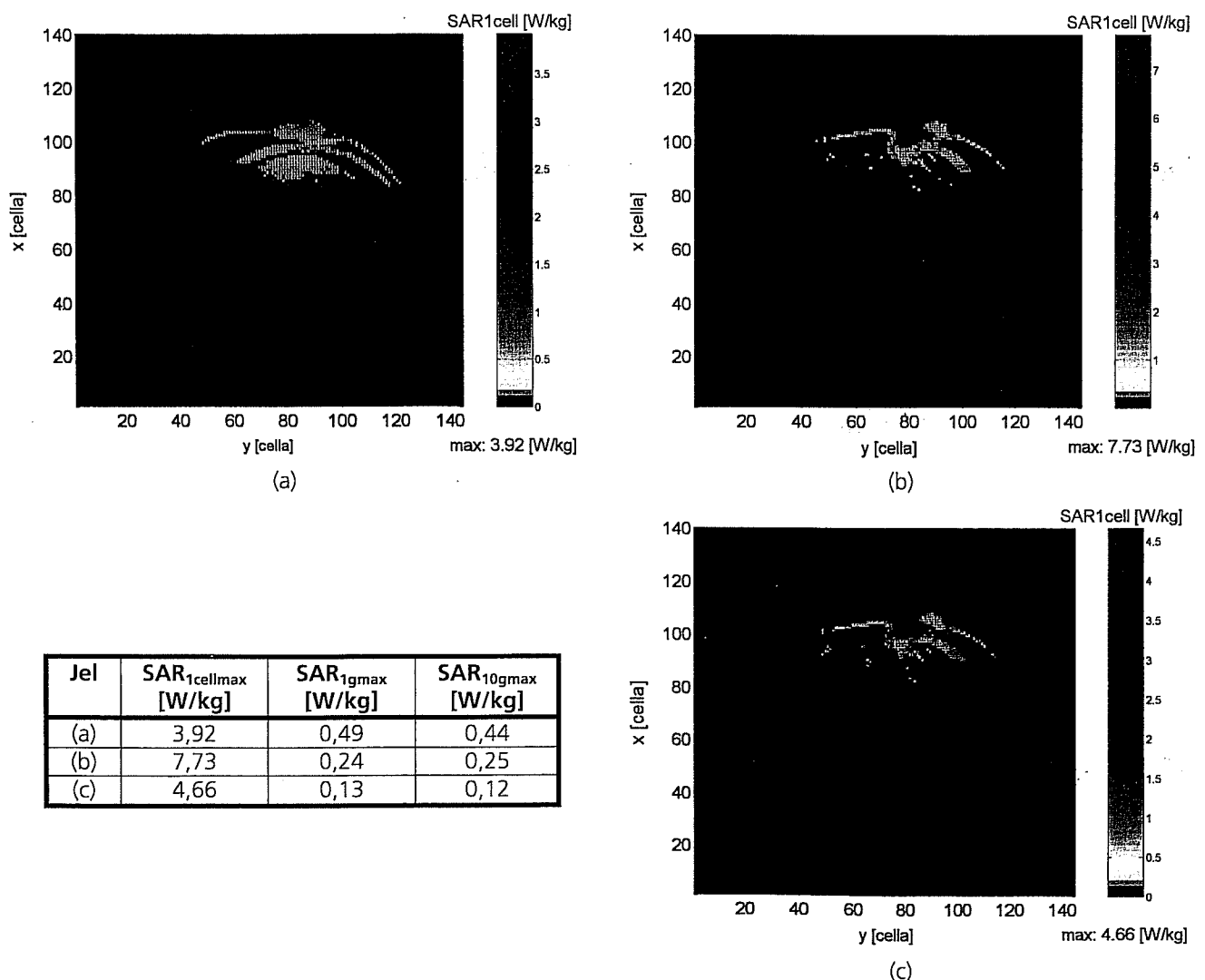
beállítás futtatási ideje 10-48 óra közt, a feldolgozásra váró adat szintén modellfuttatásonként 400-750 MB közt változott.

3. Eredmények

A kapott eredmények kiértékelése a példaként bemutatott 3. ábrán látható módon történt. A metszetek a 2. ábra jelölései szerint a z tengely irányában az SAR maximális értékénél az x-y síkkal párhuzamosan készültek. Az ábrákon az egy cellára vonatkoztatott lokális SAR eloszlása látható, az összesítő táblázatban pedig a szabványok szempontjából fontos 1 g valamint 10 g tömegű szövetre átlagolt SAR maximális értékét (SAR_{1gmax} ill. SAR_{10gmax}) is feltüntettük.

3. ábra

Szemüveget viselő (a) felnőtt fejben (b) 9-10 éves (c) 2-3 éves gyermekfejben jelentkező SAR eloszlása 900 MHz-es frekvencián $P_{\text{átl}} = 0.25$ W bemenő teljesítményű vízszintesen tartott mobiltelefon esetén



4. Következtetések

A szimulációinkból levonható fontosabb következtetések pontokba szedve a következők:

1. 900 MHz-es RF sugárzás esetén, vízszintesen tartott mobiltelefonnál a maximális fajlagosan elnyelt teljesítmény nagysága 9-10 éves gyermek fejében nagyobb, mint a felnőtt fejére. A fej további skálázásával az $SAR_{1cellmax}$, SAR_{1gmax} , SAR_{10gmax} értékek csökkennek, a felnőtt esetén a sugárzás az $SAR_{1cellmax}$ síkjában jobban behatol a fejbe, mint a gyermeknél. A szemüveget viselő felnőtt és 9-10 éves gyermek esetében az SAR érték a szemüveg szóró hatása miatt csökken. A csökkenés a felnőtt fej esetében mintegy 41 %-os, tehát nem a szemüveg csatolt antenna jellege, hanem a fém EM tereket szóró hatása érvényesül. A beültetett implantátum hatására a $SAR_{1cellmax}$ érték jelentősen nő, helye a felnőtt és 9-10 éves gyermek esetében a fej belsejébe tolódik el.
2. 900 MHz-es RF sugárzás esetén, függőlegesen tartott mobiltelefonnál az implantátum nélküli szemüveget nem ill. szemüveget viselő modellek esetén a fej méretének csökkentésével az $SAR_{1cellmax}$ értékek rendre nőnek. Implantátum beültetése esetén az $SAR_{1cellmax}$ értéke jelentősen nő, 9-10 éves gyermekfejnél meghaladja az 53 W/kg értéket, mely szemüveg viselése esetén a szemüveg csatolt antennaként történő viselkedése miatt 4%-kal tovább emelkedik. A szemüveget viselő, valamint a szemüveg nélküli modell esetén a maximális expozíció a fej felszínén alakul ki, implantátum beültetése esetén azonban áttevődik a fémlemez környezetébe. A legnagyobb SAR érték implantátum és szemüveg együttes viselése esetén lép fel. Az átlagolások végeredményei az mutatják, hogy míg az SAR_{10gmax} egyetlen beállítás esetén sem lépi túl a szabványokban megengedett lakosságra vonatkozó határértéket, addig a SAR_{1gmax} felnőtt és 9-10 éves gyermek esetén implantátum ill. implantátum és szemüveg viseléskor biztosan túllépi az ANSI/IEEE irányelv megengedett értékét, ha a telefonálás ideje hosszabb, mint 6 perc.
3. 1800 MHz-es RF sugárzás esetén, vízszintesen tartott mobiltelefonnál a 0,125 W átlagos sugárzási teljesítmény mellett elvégzett modellezési futtatások esetén szemüveget nem viselő és implantátummal szintén el nem látott modell esetén a legnagyobb SAR a 9-10 éves fejnél tapasztalható. Az RF hullámok behatolása a frekvencia növekedésével kisebb, mint a 900 MHz-es egyébként azonos feltételekkel elvégzett szimulációk esetén. A maximális expozíció elhelyezkedésére vonatkozólag megállapítható, hogy a felnőtt fej esetében a 900 MHz-es beállításhoz viszonyítva a fej függőleges tengelyének irányában lejjebb tolódott. A beültetett implantátum az 1800 MHz-es expozíció esetén is vezeti az RF teljesítményt. Megállapítható, hogy a szemüveg alkalmazása valamint az implantátum beültetése míg felnőtt fej esetén növeli az $SAR_{1cellmax}$ értékét, addig 9-10 éves gyermek esetében a fémtárgyak árnyékoló hatása érvényesül.
4. 1800 MHz-es RF sugárzás esetén, függőlegesen tartott mobiltelefonnál a telefon függőleges helyzetében a felnőtt modellnél a szemüveg és az implantátum felhelyezésével az SAR lokális valamint átlagolt értékeinek mintegy 20%-os növekedése figyelhető meg. Az implantátummal, majd implantátummal és szemüveggel egyidejűleg ellátott 2-3 éves gyermekfej-modell esetében a csatolt antennaként működő implantátum mellett az eltérő víztartalmú szövetek miatt ún. forró pont jelenik meg. A SAR_{1gmax} és SAR_{10gmax} értékek egyetlen esetben sem lépik túl az ANSI/IEEE [1992] és az EC [1999] által javasolt lakossági határértékeket.
5. 2100 MHz-es RF sugárzás esetén függőlegesen és vízszintesen tartott mobiltelefonnál a növekvő frekvencia következtében azonos sugárzási teljesítmény mellett az $SAR_{1cellmax}$ értékek alacsonyabbak lesznek, mint 1800 MHz-es frekvencián. 2100 MHz-es mobiltelefon esetén a legnagyobb expozíciós értékek vízszintesen tartott telefonnál a gyermekfej-modelleknél fordult elő. A lokális maximum függőleges helyzetben, olyan 9-10 éves gyermekfej modellnél következik be, mely fejébe implantátumot építettek. Elvégezve az 1g-os ill. 10 g-os szövetre az átlagolásokat, azt kaptuk, hogy az európai szabványokat egyetlen esetben sem lépik túl, azonban az ANSI/IEEE [1992] ajánlását felnőtt fejnél a telefon vízszintes helyzetében meghaladják.

5. Összegzés

Szimulációink során a különböző méretű emberi fejet ért – 900/1800/2100 MHz-en sugárzó mobiltelefonból származó – EM expozíciót vizsgáltuk. A modelleket az egyes beállítások során fém implantátummal és fémkeretes szemüveggel is elláttuk.

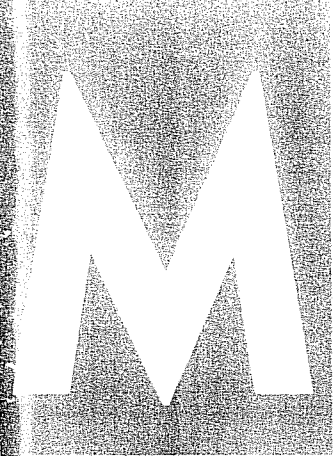
Általánosságban megállapítható, hogy az egy cellára vonatkozó max. SAR érték gyermek esetében fordul elő, amely akár 100%-kal is nagyobb lehet, mint a felnőtt fejben kialakuló. Az 1 és 10 g tömegű szövetre elvégzett átlagolások eredményeit a hazai és nemzetközi irányelvek határértékeivel összehasonlítva azt kapjuk, hogy

- normál esetben a hazánkban érvényes 519/1999/EC határértékeket nem lépik túl,
- azonban 900 MHz-es telefonnál gyermekfej esetében beültetett fém implantátum hatására valamint függőlegesen tartott 2100 MHz-es telefonnál felnőtt fej vizsgálatakor az ANSI/IEEE korlátait meghaladják.

A legnagyobb SAR érték 900 MHz-nél függőlegesen tartott mobiltelefonnál fordul elő, mivel a telefon is ezen a frekvencián sugároz a legnagyobb teljesítménnyel. A fajlagosan elnyelt teljesítmény maximális értéke többnyire a fül külső részén alakul ki, fém implantátum esetén azonban ez a fej belsejébe tolódhat. Ekkor az elnyelt teljesítmény eloszlása is változik. A fémkeretes szemüveg nem okoz jelentősebb változást.

Irodalomjegyzék

1. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI) (1992): *Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, ANSI/IEEE C95.1-1992* (previously issued as IEEE C95.1-1991), New York: ANSI
2. EC (EUROPEAN COMMISSION) (1999): *Council Recommendation 1999/519/EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), Official Journal of the European Communities, 59-70. p.*
3. FIGYELŐ (2004): *Tovább nő a Vodafone-részarány a mobil-előfizetők között, 2004. május 26.* <http://www.fn.hu/cikk.php?cid=80962>
4. GABRIEL C. (1996): *Compilation of the dielectric Properties of body Tissues at RF and Microwave Frequencies, Technical Report, AL/OE-TR-1996-0037, Armstrong Laboratory, Brooks Air Force Base, TX 78235*
5. GANDHI O. M., KANG G. (2001): *Effect of the head size on SAR for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. 24th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society Abstract Book, St. Paul, MN, p. 52.*
6. GANDHI O. M., LAZZI G., FURSE C., M. (1996): *Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz. IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, 44 (10) 1884-1897. p.*
7. HOMBACH V., MEIER K., BURKHARDT M., KÜHN E., KUSTER N. (1996): *The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 900 MHz. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 44 1865-1873. p.*
8. IEGMP (INDEPENDENT EXPERT GROUP ON MOBILE PHONES) (2000): *The Stewart Report, http://www.iegmp.org.uk*
9. IVÁNYI A. (2003): *Folytonos és diszkrét szimulációk az elektrodinamikában, Budapest: Akadémiai Kiadó, 262 p.*
10. JOÓ E., SZÁSZ A. (2004b): *FDTD modellezéssel kapott FET értékek kísérleti úton történő hitelesítése. Tudományos Közlemények, Gyöngyös: Károly Róbert Főiskola, 139-147. p.*
11. KUNZ K. S., LUEBBERS R. J. (1992) *Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics. New York: CRC Press, 447 p.*
12. MASON P. A., ZIRIAX J. M., HURT W. D., WALTERS T. J., RYAN K. L., NELSON D. A., SMITH K. I. D'ANDREA J. A. (2000): *Recent advancements in dosimetry measurements and modeling. p. 141-155. p. In: Klauenberg és Miklavcic (Szerk.): Radio Frequency Dosimetry, Norwel, MA: Kluwer*
13. NIST (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY) (1977): *Anthropometric Data of Children, http://www.itl.nist.gov/iaui/ovrt/projects/anthrokids/77mlNF.htm*
14. OKONIEWSKI M., STUCHLY M. (1996): *A study of the handset antenna and human body interaction. IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, 15 1855-1864. p.*
15. RADIO FREQUENCY RADIATION BRANCH, Tech. Rep. N/A, Brooks Air Force Base, TX, USA, <http://www.brooks.af.mil/AFRL/HED/hedr/dosimetry.html>
16. SULLIVAN D. (2000): *Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method. New York: IEEE Press, 165 p.*
17. TAFLOVE A., HAGNESS C. (2000): *Computational Electrodynamics. Second Edition, Boston, London: Artech House, 852 p.*
18. THURÓCZY GY. (1996): *Az elektromágneses terek biológiai hatásai I. Magyar Távközlés (9) 50-56. p.*
19. THURÓCZY GY. (1998): *A mobil hírközlés sugár-egészségügyi kérdései. Magyar Távközlés (7) 26-33. p.*
20. THURÓCZY GY.; BAKOS J. (2002): *Az elektromágneses terek és környezetünk. Budapest: BME-OMIKK, Környezetvédelmi Füzetek, 68 p.*
21. WANG J., FUJIWARA O. (2000): *Comparison and evaluation of local peak SAR in realistic human head models of adult and children for mobile phones, URSI General Assembly CD Abstracts, http://hawk.iszf.irk.ru/URSI2002/GAabstracts/papers/p0129.pdf*
22. WANG J., FUJIWARA O. (2003): *Comparison and evaluation of electromagnetic absorption characteristics in realistic human head models of adult and children for 900-MHz mobile telephones. IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 51 966-971. p.*
23. WANG J., JOUKOU T., FUJIWARA O. (1998): *Localized Specific Absorption Rate in the Human Head in Metal-Framed Spectacles for 1.5 GHz Hand-Held Mobile Telephones, T.IEE Japan, 118 (11) 1234-1240. p.*



MUNKAVÉDELEM ÉS BIZTONSÁG- TECHNIKA



A MUNKAÉDELMI KUTATÁSI
KÖZALAPÍTVÁNY FOLYOÍRATA

XVII. FOLYAM 2005
1-57 AM



uvex gravity zero

- Védő-, munka-, forma- és tűzoltóruházat gyártása és forgalmazása.
- Egyéni védőeszközök: fejkvédők, arcvédők, légzőszerveket védő eszközök, szemvédők, hallásszerveket védő eszközök, kézvédők, lábvédők és leesés elleni eszközök forgalmazása.
- Szaktanácsadás, termék- és szolgáltatásfejlesztés.

A munkavédelemben elsőként tanúsítva az ISO 9001 és NATO AQAP 110 szerint.

VEKTOR
MUNKAÉDELMI, MŰSZAKI FEJLESZTŐ ÉS
GYÁRTÓ SZÖVETKEZET

Cím: 1095 Budapest, Soroksári út 164.
Telefon: 281-1945 • Fax: 281-1947
E-mail: vektor@vektorsz.hu
Kiskereskedelmi üzlet:
1077 Budapest, Izabella u. 20. Tel.: 342-1358