

Ki ne hallotta volna már ezt a kifejezést? Az utóbbi időben, elsősorban a bulvársajtóban egyre gyakrabban olvashatunk róla, ezért néhány dolgot feltétlenül érdemes tisztázni. A radioaktivitáshoz hasonlóan ez is egy olyan láthatatlan és érzékszerveinkkel felfoghatatlan valami, ami ezáltal nagyon alkalmas arra, hogy téveszmék alakuljanak ki körülötte, illetve vélt vagy valós okokból félelmeket tápláljunk irányában. Ezekre a téveszmékre és félelmekre azután komplett üzletág épül olyan eszközöket és szolgáltatásokat értékesítve, amelyek többnyire nélkülözik a tudományos alapot.

Ezért is tartom fontosnak, hogy egy rövid tudományos áttekintést adjak ezzel a jelenséggel kapcsolatban, és a kutatási irányvonalak felvázolása mellett hírt adjak egy hiteles hazai vizsgálatosorozatról.

## Fizika

*„Elektroszmog” – már maga a kifejezés is több okból megtévesztő.* A szó hallatán egy sűrű, ködszerű felhőt képzelünk el, és ez önmagában idegenkedést, taszító hatást kelt. Ugyanakkor az ezzel a kifejezéssel illetett jelenség fizikailag egyáltalán nem hasonlít a hagyományos értelemben vett ipari szmoghoz. Először is, ez a sugárzás nem halmozódik olyan módon a szervezetben, mint a szmog káros anyagai. Másodszor pedig ez a technológia velejárója, ami az ipari szmoggal ellentétben nem csökkenthető a végletekig anélkül, hogy az a szolgáltatás rovására ne menne.

De akkor miről is beszélünk? Tulajdonképpen a *komplex nem-ionizáló elektromágneses környezetünket* értjük alatta, azaz olyan nem-ionizáló elektromágneses sugárzásokat, amelyeket valamilyen használati eszközünk bocsát ki, vagy amely annak működtetéséhez szükséges. A legjellemzőbb ezek közül az 50 Hz frekvenciájú hálózat és általában az elektromos berendezések, a leghírhedtebb pedig a mikrohullámon működő mobiltelefon és az azt kiszolgáló bázisállomások. Az ionizáló sugárzásokkal szemben nagyon fontos különbség, hogy míg azok természetesen hozzátartoznak a földi életünkhöz, addig az *„elektroszmog”-nak megfelelő frekvenciájú sugárzások és terek természetes intenzitása gyakorlatilag nulla, de mindenképpen elenyésző a civilizációs forrásokhoz képest.* Ugyanakkor az is igaz, hogy szervezetünk elektromágneses impulzusokkal működik, így *egyes esetekben a természetes belső terek nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek a mesterséges külső tereknél.*

A következőkben lássunk néhány alapvető tény ezek fizikai és biológia tulajdonságairól!

Az elektromágneses hullámban egymásra és a terjedési irányra is merőleges, szinuszosan változó elektromos és mágneses tér terjed fénysebességgel. A  $\lambda$  hullámhosszal,  $\nu$  frekvenciával jellemzett hullámok között vannak olyanok, amelyekben a fotonok  $h\nu$  energiája már olyan nagy, hogy elektronokat tudnak kiszakítani az atomból, ezek az ionizáló sugárzások. Mivel a fotonok energiája arányos a hullám frekvenciájával, ezért  $3 \cdot 10^{15}$  Hz = 3 PHz-nél húzható egy határ: ez alatti frekvenciájú hullámok a nem-ionizáló tartományba tartoznak. Ide sorolható az optikai tartomány is, azon belül az ultraibolya, a látható fény és az infravörös is. „Elektroszmog”-on az optikainál alacsonyabb frekvenciájú tartományt értjük, különös tekintettel a rádiófrekvenciás (RF) és mikrohullámú (MH) tartományra (RF és MH: 300 kHz – 300 GHz), valamint az extrém alacsony frekvenciára (ELF: 1–300 Hz, különösen az 50/60 Hz). Az előbbi tartományban működnek a rádió- és televízióadók, a készenléti egységek kommunikációs csatornái, a mobiltelefonok és a hozzájuk tartozó bázisállomások, a radarok és navigációs rendszerek, a mikrohullámú sütők, valamint az összes vezeték nélküli irodai és kommunikációs eszköz (bluetooth, WLAN, telefon, egér, billentyűzet). Az 50 Hz-hez köthető lényegében az összes háztartási elektromos berendezésünk, a hozzájuk tartozó vezetékek, valamint a transzformátorok és a távvezetékek. A két tartomány között leggyakrabban felmerülő sugárzás pedig a katódsugárcsőves monitorokból származik (15 és 60 kHz).

Megkülönböztethetünk távoli és közeli sugárforrásokat. Távoli források közé sorolhatóak RF-MH esetén a bázisállomások és tv-rádió műsorszóró adók, valamint a WLAN adók. ELF esetén tipikusan a nagyfeszültségű vezetékek és transzformátorok tartoznak ide. Ezek távol vannak a testtől, így az egyén helyén kisebb intenzitású, de folyamatos háttérsugárzást biztosítanak. A közeli források a használati eszközök, RF-MH esetén például a mobiltelefonok, az egyéb vezeték nélküli eszközök, a WiFi-vevők és a mikrohullámú sütők. ELF esetén az elektromossággal működő használati tárgyakat sorolhatjuk ide, amelyek közül különösen jelentős példák a hajszárító, a villanyborotva vagy a turmixgép. Ezek használat közben mind közel vannak a testünkhöz, de sugárzást csak rövid ideig, azaz használatuk közben bocsátanak ki, akkor viszont elég nagy intenzitású. Mindezidáig nem tisztázott, hogy biológiai hatását tekintve távoli vagy a közeli sugárforrás közül melyik a jelentősebb. Laikusként, „józan paraszti ésszel” belegondolva számos hatás esetén a rövid idő alatti nagy intenzitású effektus a károsabb. A kézenfekvő radioaktivitás példája mellett gondolhatunk az „elektroszmog”-hoz hasonlóan a nem-ionizáló napsugárzásra vagy a zajszennyezésre, de akár olyan hétköznapi dolgokra is, mint az alkoholfogyasztás (nem mind egy, hogy 30 napon át iszik valaki napi egy korsó sört, vagy egy napon 30 korsóval...).

A szerző köszönetet mond az OSSKI munkatársainak és az ELTE hallgatóinak a csapatmunkáért, valamint az összes mérési alanynak a közreműködésért.

## Biológia és egészség

Különböző forrásokból különböző információkat lehet kapni arról, hogy pontosan milyen egészségügyi hatások köthetők az „elektroszmog”-hoz. Egyes internetes oldalak olyan panaszokat tulajdonítanak neki, mint a fejfájás, alvászavar, kimerültség, az immunrendszer gyengülése, depresszió, valamint szív- és érrendszeri problémák. Ezekre azonban semmilyen tudományos bizonyíték nincs, és bárki könnyen láthatja, hogy a civilizált világban ezek a panaszok gyakoriak ugyan, de számos kézenfekvőbb magyarázat található rájuk (mozgásszegény életmód, egészségtelen táplálkozás, környezetszennyezés, stressz stb.). Emellett számos honlapon találunk különböző megoldásokat az „elektroszmog” csökkentésére vagy megszüntetésére, természetesen az ingyenes jótanácsok mellett a legtöbbjét jó pénzért. Tehát úgy tűnik, hogy egyes csoportoknak kifejezetten érdekük fűződik a – lakosságban a jelenséggel kapcsolatos – bizonytalanság és tévhitiek fenntartásához. Ehhez köthetően kialakult az „elektromos túlérzékenység” fogalma. Egyes emberek azt állítják, hogy érzik az „elektroszmog”-ot, és ilyenkor bőrtünetek, szédülés, hányinger, fejfájás, alvási rendellenesség és emlékezetkiesés lép fel náluk, de súlyosabb esetben légzési problémák, szívdobogás és eszméletvesztés is előfordulhat. Az eddigi vizsgálatok azt állapították meg, hogy egyrészt a tünetek olyan nem-specifikus panaszok, amelyek objektív módon nem ellenőrizhetők, másrészt megjelenésük esetleges (tehát nem feltétlenül függ össze az elektromágneses tér jelenlétével), és nagy valószínűséggel pszichés hátterük van.

Vannak viszont olyan biológiai és egészségi hatások, amelyeket már tudományosan alátámasztottnak tekinthetünk. A biológiai hatásokat tekintve elmondható, hogy ezek a sugárzások az élő szervezetet nem-ionizáló tulajdonságuk miatt magasabb frekvencián elsősorban hőhatással, illetve elektromos terük által, alacsonyabb frekvencián pedig mágneses terük révén érinthetik.

*Az extrém alacsony frekvenciájú teret a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség már korábbi vizsgálatok alapján besorolta a lehetséges emberi rákkeltő (2B) kategóriába, a gyermekkori leukémiára nézve. Ez azt jelenti, hogy olyan emberben történő rákkeltés bizonyítékán alapul, amelyre azonban nem zárható ki más ok sem. (Érdeemes megemlíteni, hogy ebbe a kategóriába tartozik a kávé mellett az aloe vera és a ginkgo biloba is, aminek persze nincs akkora sajtóvisszhangja.) Ezen kívül fontos hozzátenni, hogy az ELF-re kizárólag a gyermekkori leukémia esetén találtak összefüggést, és csak nagyfeszültségű terekkel, azaz transzformátor-állomások és távvezetékek közelében lakók körében. Felmerült a lehetőség, hogy az 50 Hz összefüggő különböző daganatok, illetve – a melatonin-termelés csökkenése révén – a depresszió kialakulásával, de ezekre eddig nem sikerült meggyőző bizonyítékot találni.*

A RF és MH tartományon belül – széles elterjedtségük miatt – kiemelt jelentőséggel bírnak a mobiltelefonok. Számos kutatás vizsgálta/vizsgálja, hogy a mobiltelefon okoz-e agydaganatot, de a mai napig nem sikerült közvetlenül igazolni, hogy daganatkeltő és/vagy -növelő hatása lenne. *Azonban statisztikai alapon a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség 2011-ben ezt is besorolta a lehetséges emberi rákkeltő kategóriába, a gliómára nézve.*

Emellett leginkább a központi idegrendszerre gyakorolt hatások állnak a kutatások középpontjában. Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a sugárzás jelenlétében megváltozik a neuronokat körülvevő folyadék ionösszetételért felelős vér-agy gát működése, ezáltal előfordulhat, hogy olyan anyagok is bejuthatnak az agyba, amelyek sugárzás nélkül nem. Azonban ennek egészségi megnyilvánulásai egyelőre további kutatások tárgyát képezik. A sejtmembránnal kapcsolatos hatások közül eddig igazolást nyert, hogy sugárzás jelenlétében megnő a kalcium- és más ionok kiáramlása, de itt szintén a vizsgálatok folytatása szükséges annak megállapítására, hogy ez a mikroszkopikus biológiai hatás milyen makroszkopikus, egészséget érintő hatást vonhat maga után. *Híszén fontos kiemelni, ahogyan nem minden fizikai behatást követ biológiai válasz, úgy egy biológiai hatás sem feltétlenül befolyásolja az egészséget, hiszen a szervezet védekező-mechanizmusai megátal-  
hatják azt.*

Számos egyéb területen is folynak kutatások, köztük az alvásra, EEG-re, fejfájásra, nemzőképességre, immunrendszerre gyakorolt hatások terén, azonban az eredmények nem egyértelműek.

A mobil-probléma egyébként kétkomponensű, mert egyrészt *nem használjuk tömegesen annyi ideje, hogy egy esetleges hosszú távú hatást epidemiológiai méretekben észleljünk*, másfelől viszont éppen *az eszköz népszerűsége miatt egy viszonylag kis egészségi kockázat is népegészségügyi következményekkel járhat*. Megdöbbentő adat, hogy ma a világon ötmilliárd mobiltelefonos van, de elgondolkodtató az a tény is, hogy Magyarországon 2007 áprilisában, tizenhárom évvel a GSM szolgáltatás hazai beindulása után, a mobiltelefon előfizetések száma meghaladta a lakosság lélekszámát, mára csaknem 12 millióra rúg.

Nem véletlen tehát, hogy nemrégiben nagyszabású felmérést indítottak a britek, amelyben öt ország több mint 250 ezer lakosa vesz részt. A kutatás időtartama több mint 30 év, így a rövid, közép és hosszú távú hatások vizsgálatára is mód nyílik, és remélhetőleg sok, mobiltelefonokkal kapcsolatos kérdésre kapunk majd választ.

Mindenesetre az eddigi eredmények alapján már megállapítottak lakosságra vonatkozó hatósági határérték-ajánlásokat. Ezeket úgy tervezték, hogy kivédjék az összes azonosított veszélyt, legyen szó akár rövid, akár hosszú távú expozícióról. Magyarországon a hatályos szabályozást a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet tartalmazza.



## Expozimetria

Miután – főleg állatkísérletek alapján – meghatározták azt a sugárzási szintet, ami megengedhető a lakosságra nézve, szükséges felmérni, hogy ez miként viszonyul a környezetünkben mérhető értékekhez.

Fontos tisztázni, hogy az ionizáló sugárzásokkal ellentétben itt a külső fizikai expozíció nem tekinthető azonosnak a biológiailag hatásos dózissal. Emiatt nem is dozimetriáról, hanem expozimetriáról beszélünk, amikor a külső sugárzás mérését taglaljuk. Ez RF-MH esetén leggyakrabban az elektromos térerősség V/m-ben történő mérését jelenti, amit esetleg átszámolunk teljesítménysűrűsége ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). A dozimetriával foglalkozó kutatók pedig a fajlagosan elnyelt teljesítménnyel (SAR-W/kg) dolgoznak, amely számos paramétertől függ, a sugárzás frekvenciáján és intenzitásán kívül a besugárzott test méretétől, alakjától, víztartalmától, elektromos és mágneses tulajdonságaitól. A mi kutatócsoportunk az ELTE Atomfizikai Tanszékén az OSSKI Nem-ionizáló Sugárzások Főosztályával szoros együttműködésben elsősorban RF-MH expozimetriával foglalkozik 2007. ősz óta.

Az eddigi vizsgálatok azt mutatták, hogy az expozíció meghatározása legmegbízhatóbban személyi expozícióméréssel (expozimetria) valósítható meg, tekintettel arra, hogy a tapasztalat szerint a helyszíni mérések adatai önmagukban nem szolgáltatnak elegendő információt az egyén expozíciójáról az időben ingadozó és hely szerint is nagyon változó komplex elektromágneses környezetben. Az „elektroszmozg” expozíció valós becslését a korábban kifejlesztett személyi expozíciómérők (PEM: Personal Exposure Meter) teszik lehetővé.

Kutatásaink során ilyen expozimétert (1. ábra) használunk mi is. Ez a nap 24 órájában 12 kiemelt frekvenciasávon, irányfüggetlen módon méri az elektromos térerősség értékeit. A sugárforrások közül a tv- és rádióadókat, a mobiltelefon-készülékeket és bázisállomásokot, a készenléti egységek frekvenciáit (TETRA), a vezeték nélküli otthoni telefont és a WLAN-t/mikrosütőt (mindkettő 2,45 GHz frekvenciájú sugárzást bocsát ki) detektálja. A mérési alanyok naplót vezetnek napi

1. ábra. A PEM és viselési módja.



tevékenységeikről, különös tekintettel a készülék-használatokra. Az adatok elektronikus feldolgozása és kiértékelése után az időre átlagolt teljesítménysűrűségek statisztikai analízise következik.

## Felméréseink eredményei

Az elmúlt 6 évben összesen négy nagy projektünk volt. Az elsőben egyetemi hallgatók napi expozícióját vizsgáltuk, hogy a tevékenységek és a frekvenciasávok szerinti eloszlás mellett a lakóhelytől (fővárosi, ingázó, vidéki) való függést megállapítsuk. Második felmérésünk a budapesti bázisállomások közelében lakók expozíciójának meghatározását célozta meg, különös tekintettel a bázisállomás távolságától való függésre. A következő vizsgálatban óvodások expozícióbecslését végeztük óvónők és szülők bevonásával különböző módszerekkel. Az utolsó tanulmány pedig mentődolgozók szolgálati rádióhasználatából adódó foglalkozási többszűrűségének a meghatározását tűzte ki célul.

*A kutatásaink érdekessége, hogy világviszonylatban is úttörő jellegűek, hiszen még nincs nemzetközileg elfogadott, egységes protokoll sem a mérésre, feldolgozásra, kiértékelésre, sem pedig a statisztikai elemzésre.* Így felméréseink során az egyes csoportok expozíciójának meghatározása mellett a módszertani fejlesztés is jelentős szerepet kapott. Az olvasókat azonban nyilvánvalóan inkább az érdekli, hogy a mért értékek miként viszonyulnak az egészségügyi határértékekhez.

Bár a leegyszerűsített válasz az, hogy *a tényleges expozíciós értékek mindig nagyságrendekkel az ajánlott egészségügyi határérték alatt vannak*, mégis az egyes csoportok és kategóriák elemzése lényeges információkkal szolgál, ezért összefoglalom a főbb tapasztalatokat.

A *diákok* napi szinten a GSM 900 MHz-es mobiltelefonok és bázisállomásaik, valamint a rádióadók sávjából kapták a legintenzívebb sugárzást, és ez független volt lakóhelytől. Ezen kívül az is megállapítást nyert, hogy a TETRA, a VHF tv- és a 3G telefonkészülékek sugárzása elhanyagolható. Tevékenységeket tekintve a legnagyobb expozíció utazás alatt, a legkisebb pedig alvás alatt adódott, ami jó egyezésben van a nemzetközi irodalommal. Lakóhelyek alapján nincs különbség a fővárosi, ingázó és vidéki csoportok között a napi teljes expozíció szempontjából, ami jó hír lehet a városban lakó, beépítettség miatt aggódó egyéneknek.

A *bázisállomások közelében élők* vizsgálatakor egy népszerű tévhitet sikerült mérésekkel alátámasztva megdöntenünk. A bázisállomások 300 m-es körzetében végzett méréseink a fizika alapján várt képet támasztották alá: *közvetlenül a bázisállomás alatti épületben lakókat statisztikailag szignifikánsan kevesebb sugárzás érte, mint a szomszédos házakban élőket.* Mindazonáltal a visszaverődések miatt a bázisállomás alatt lakók esetén is mértünk valamekkora expozíciót, a körzeten belül a legkisebbnek pedig nyilván a bá-

zisállomástól távolabbi házakban adódott a teljesítménysűrűség. A frekvenciasávok szerinti eloszlásban természetesen a bázisállomásoktól származó expozíció volt jelentős, abból is kiemelkedett a 900 MHz-es. A tevékenységek szerinti vizsgálat viszont újdonságot hozott, ebben a csoportban ugyanis a diákoktól eltérően nem volt számottevő különbség az egyes tevékenységek között. Ennek oka abban keresendő, hogy az otthoni és alvás alatti expozíció a bázisállomások közelsége miatt emelkedettebb. Ezek a következtetések lakótelepen és családi házas környezetben is igaznak bizonyultak.

Az epidemiológiai kutatások és expozimetria területén kiemelt kutatási téma a *gyerekek* expozíciójának meghatározása, mivel a fejlődő szervezet általában mindenféle ágenssel szemben érzékenyebb. Azonban gyerekekkel végezni méréseket korántsem triviális feladat, ez jelentős módszertani probléma. Emiatt bevált szokás, hogy a gyerekek expozícióját a körülöttük lévő felnőttek (szülők, pedagógusok) méréseiből származtatjuk, de egyelőre erre sincs egységesen működő módszer. Az eredmények elsősorban módszertani szempontból jelentősek, de megállapítható, hogy nagyon alacsony az expozíció és a felnőttek készülékhasználata jelentősen befolyásolta a mérési eredményeket.

Az utolsó, 2012-es vizsgálatunk az Országos Mentőszolgálatnál dolgozó személyzet foglalkozási expozíciójának vizsgálatára irányult. A *mentők* ugyanis munkájuk során a civil lakossághoz képest fokozottan vannak kitéve az úgynevezett TETRA-rendszerű rádiókommunikáció sugárzásának. Várakozásunknak

megfelelően ez kiemelten igaz munkaidejükben. Összehasonlítva a korábbi felmérésekben vizsgált csoportokkal kiderült, hogy a TETRA, bár jelentősen alatta marad a rendeletben rögzített határértékeknek, egyértelműen valós foglalkozási expozíciót jelent a mentőszemélyzet számára.

A négy felmérés összehasonlításában a teljes napi expozíciót tekintve a *legalacsonyabb értékeket az óvodai méréseben kaptuk, a legmagasabbat pedig a bázisállomások közelében élő lakosságnál (azonban még ez is csak századrésze volt az egészségügyi határértéknek!)*. A kettő között a diákok és a mentők nagyjából azonos mértékű sugárzásnak vannak kitéve, azonban az expozíció időbeli és frekvencia szerinti eloszlása minden csoportnál különböző.

## Következtetések

A kutatások természetesen folytatódnak, számos módszertani kérdés vár megválaszolásra, és több, epidemiológiailag fontos csoport expozíciójának mérése szükséges még. Ezen kívül méréseinket feltétlenül szeretnénk kiterjeszteni az ELF tartományra.

Reményeim szerint az általam publikált információk hozzájárulnak egy objektív megközelítés megalkotásához és elterjesztéséhez.

## Irodalom

Finta V.: *Személyi expozíció mérése az elektromágneses spektrum rádiófrekvenciás és mikrobullámú tartományában*. PhD értekezés, ELTE, 2012. <http://www.doktori.hu/index.php?menuid=193&vid=10838>

# Ez is a Kanári-szigetek!

Nézzed meg!

Töltsd le!

Mutasd meg másoknak!

Tanítsd meg diákjaidnak!

## VAN ÚJ A FÖLD FELETT

Keresd a [fizikaiszemle.hu](http://fizikaiszemle.hu) mellékletek menüpontjában!

