SZÉCHENYI FÜZETEK

5. SZÁMÚ ÚTMUTATÓ AZ EGÉSZSÉG MEGŐRZÉSÉHEZ

Hálózati frekvenciájú elektromágneses terek környezetünkben

Országos Frèdèric Joliot-Curie Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet

Fodor József Országos Közegészségügy Központ

Hálózati frekvenciájú elektromágneses terek környezetünkben

Ossum

Írta: Dr. Thuróczy György, Dr Szabó Judit, Dr. Bakos József

Szerkesztette: Dr. Dám Annamária
Lektorálta: Prof. Dr. Köteles György

Készült: Az Országos „Frèdèric Joliot-Curie" Sugárbiológiai
és Sugáregészségügyi Kutató Intézetben,
Fodor József Országos Közegészségügyi Központ
1221 Budapest, Anna utca 5.

Címlapfotó: Dr. Horváth Győző
Grafika: Haász Ágnes

Támogató: a Nemzeti Kutatás Fejlesztési Program, NKFP-1/008/2001 és az NKFP-1/016/2001 sz. „Széchenyi" Pályázat
Konzorciumvezetők: Prof. Dr. Köteles György és Dr. Tompa Anna

ISBN 963 85514 2 9

Felelős kiadó: Possum Lap- és Könyvkiadó, Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: Várnagy László ügyvezető igazgató
Cím: 1093 Budapest, Közraktár utca 28. I. emelet 7.
Telefon: 20/9345-318, 218-7858 *fax:* 215-57-19

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS 5

Környezetünk elektromágneses expozíciója 8
A természetes extrém alacsony frekvenciás (ELF) háttérsugárzás 8
Mesterségesen keltett ELF elektromágneses terek 9
Nagyfeszültségű távvezetékek és ipari berendezések 9
Épületbe telepített transzformátorok 12
Háztartási berendezések 14
Számítógépes képernyők elektromos és mágneses tere 15
Gyors lefolyású (tranziens) expozíciók 17
Állandó (sztatikus) elektromos és mágneses terek 18

Az elektromágneses sugárzások dozimetriája 19
Dozimetriai egységek 19
A lakosság expozíciója a környezeti alacsonyfrekvenciás mágneses terek hatására 21
Személyi dozimetria 24

Biológiai hatások és egészségi következmények 28

Epidemiológiai vizsgálatok 30

Szabványok és határértékek 32
Általános alapelvek a szabályozásban 32
Nemzetközi szabványok és ajánlások 35

Összefoglalás 37

Bibliográfia 39

Melléklet 42
I. Elektromágneses terek és a közegészségügy 42
Extrém alacsony frekvenciájú terek és a rák 42
IARC értékelés 43
Okoznak-e az ELF terek rákot? 44
Nemzetközi ajánlások 45
Néhány nemzeti reagálás 45
A WHO válasza 46
További olvasnivalók 48
II. Óvatossági irányelvek (WHO Háttéranyag, 2000 március) 49
Bizonytalanságok az EMF körül 49
Elővigyázatossági irányelvek 50
Elővigyázatossági elv az EMF-el kapcsolatban 55
Az ajánlott határértékek bevonása 55

Bevezetés

Nem-ionizáló sugárzásokon azon elektromágneses (EM) sugárzásokat, illetve elektromos és mágneses tereket értjük, melyek hullámhossza a 100 nm és a végtelen, frekvenciája a 0 Hz (statikus elektromos és mágneses tér) és $3x10^{15}$ Hz között van.

Az elektromos és mágneses terek, valamint az elektromágneses sugárzások már keletkezésük óta körülveszik lakóhelyünket, a Földet. Az elektromosság felfedezése óta egyre több villamos berendezés kerül lakó és munkakörnyezetünkbe, amelyek természetes háttérszintet sokszorosan meghaladó elektromos és mágneses tereket keltenek maguk körül.

A természetes eredetű elektromágneses terek és sugárzások a földi élet keletkezése óta hatással lehetnek a bioszférára. Ilyen a Föld mágneses tere, a légkörben kialakuló elektromos terek, a villámok mágneses terei, a csillagokról érkező nagyfrekvenciás sugárzások. Az élőlények életfunkciói is kapcsolatban állnak elektromos jelekkel, így jogos a feltételezés, hogy a külső elektromágneses terek hatással lehetnek a biológiai rendszerek működésére. Mivel a természetes eredetű elektromágneses terek régóta jelen vannak környezetünkben, az élő rendszerek alkalmazkodtak, sőt ki is használják azokat, ahogy például a madarak a Föld mágneses terét a tájékozódásban. A cápák és ráják elektroreceptív szerve, az ún. Lorenzini-ampullák segítségével a préda gyenge elektromos terét érzékelik.

A mesterséges elektromágneses terek és sugárzások napjainkra jelentős "környezetszennyezőkké" léptek elő a fejlett országokban, így mindenképpen szükséges foglalkozni ezek lehetséges környezetegészségügyi hatásaival és jövőbeni következményeivel.

A biológiai rendszerekben molekuláris szinten zajló elektromos, illetve elektrokémiai folyamatok egyre alaposabb megismerése előtérbe helyezi az elektromágneses terek szerepét, nem csak egészségre gyakorolt hatásában, hanem a kölcsönhatások leírásában is. Felvetődik a kérdés, vajon az ezen a területen folytatott kutatások a környezetegészségügyben, vagy az alapkutatások terén bírnak majd nagyobb jelentőséggel? Lehetséges ugyanis, hogy egy környezetegészségügyi kérdés megvitatása során a nem ionizáló elektromágneses sugárzások biológiai hatásainak kutatása, egészen újszerű ismeretekhez vezethet bizonyos, például a sejtmembránon történő vagy intracelluláris térben zajló folyamatoknál. Az elektromágneses környezet gyors változása, a közegészségügyi problémák felszínre kerülése és a tudományos kutatás versenyben állnak egymással. Egyelőre csak az a nyilvánvaló, hogy a technikai fejlődés, különösen a mobiltelefónia területén, már messze előtte jár a másik kettőnek.

A környezet természetes és mesterséges elektromágneses (EM) expozíciójának frekvenciaspektruma igen széles, amelyet az első táblázat szemléltet.

Jelen tanulmány az elektromágneses terek és sugárzások közül csak a 3 Hz - 300 Hz frekvenciatartományba tartozó un. extrém alacsony frekvenciájú (ELF) terekkel foglalkozik *(1. táblázat).*

1. táblázat

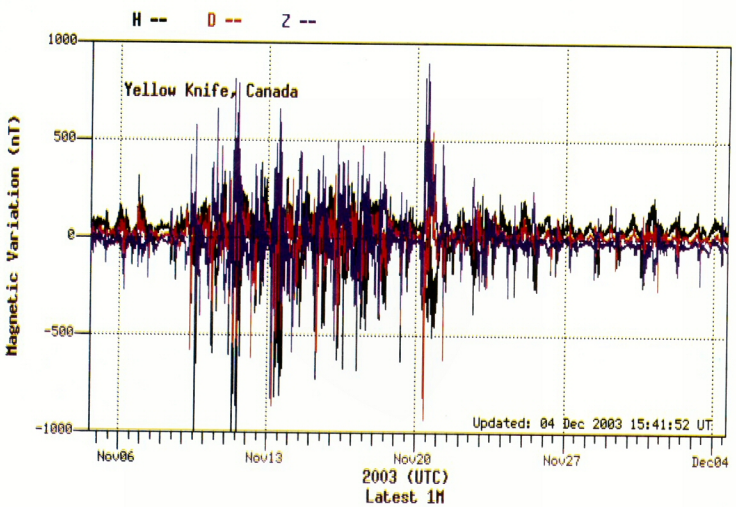
Elektromágneses sugárzások és terek

Sugárzás típusa	Frekvenciatartomány	Hullámhossz
Ionizáló	> 3 PHz	< 100 nm
Elektromágneses	< 3 PHz	> 100 nm
Optikai sugárzás		
Ultraibolya (UV)	3 - 0,750 PHz	100 - 400 nm
UV-C	3 - 1,070 PHz	100 - 280 nm
UV-B	1,070 - 0,952 PHz	280 - 315 nm
UV-A	0,952 - 0,750 PHz	315 - 400 nm
Látható fény	750 - 375 THz	400 - 800 nm
Infravörös (IR)	375 - 0,3 THz	0,8 - 1 000 μm
IR-A	385 - 214 THz	0,8 - 1,4 μm
IR-B	214 - 100 THz	1,4 - 3 μm
IR-C	100 - 0,3 THz	3 - 1 000 μm
Mikrohullámú(MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárzások	300 GHz - 0,3 MHz	0,001 - 1000 m
extrém magas frekvencia (EHF)	300 - 30 GHz	1- 10 mm
szuper-magas frekvencia (SHF)	30 - 3 GHz	10- 100 mm
ultra-magas frekvencia (UHF)	3 - 0,3 GHz	100 - 1000 mm
Nagyon magas frekvencia (VHF)	300- 30 MHz	1 - 10 m
magas frekvencia (HF)	30 - 3 MHz	10 - 100 m
közép frekvencia (MF)	100 - 1000 m	3 - 0,3 MHz
Elektromos és mágneses terek		
Alacsony frekvencia (LF)	300 - 30 kHz	1 - 10 km
Nagyon alacsony frekvencia (VLF)	30 - 3 kHz 3 - 0,3 kHz	10 - 100 km 100 - 1000 km
Extrém alacsony frekvencia (ELF)	0,3 - 0,003 kHz	> 1 000 km
Ultra alacsony frekvencia	3 - >0 Hz	
Statikus elektromos és mágneses terek	0 Hz	∞

Környezetünk elektromágneses expozíciója

A természetes extrém alacsony frekvenciás (ELF) háttérsugárzás

A Föld természetes mágneses tere (geomágneses tér) alapvetően statikus állandó mágneses tér, amely hazánkban kb. 46-48 μT. Csekély mértékű változó mágneses tér összetevője is van, az ún. atmoszferikus geomágnesség (atmospherics vagy spherics), amelyet a földi villámtevékenység tart fenn (globálisan kb. 100 villám /s). Főleg *extrém alacsony frekvenciákat (ELF)* és *nagyon alacsony frekvenvciájú (VLF)* hullámokat tartalmaz. A VLF jel hatékonyan terjed a keletkezés helyétől a Föld és az ionoszféra által alkotott hullámvezetőben és a keletkezési helyétől sok ezer kilométerre is detektálható. Az interferencia révén létrejövő állóhullám alap frekvenciája: ~7,8Hz, intenzitása igen alacsony, nanotesla nagyságrendű *(1.ábra).*



1. ábra

Az atmoszferikus geomágneses tér változása 2003 novemberében és decemberében. Az atmoszferikus geomágnesség napkitörés hatására fokozódik. A változás mértéke 2003 őszén különösen nagy volt, meghaladta az 1000 nanoteslát (nT).
http://137.229.36.30/cgi-bin/magnetometer/magchain.cgi

Mesterségesen keltett ELF elektromágneses terek

A mesterséges ELF terek döntően a hálózati 50/60 Hz frekvenciájú áram szállítása, elosztása és 50/60 Hz-es frekvenciával működő elektromos készülékek használata esetén, valamint azok ki-be kapcsolásakor keletkeznek. Mesterséges elektromágneses tér források lehetnek a nagyfeszültségű távvezetékek, egyes ipari berendezések, a villamosvontatású vasút felsővezetéke, a transzformátor-állomások, háztartási készülékek, számítógépek, stb.

Nagyfeszültségű távvezetékek és ipari berendezések

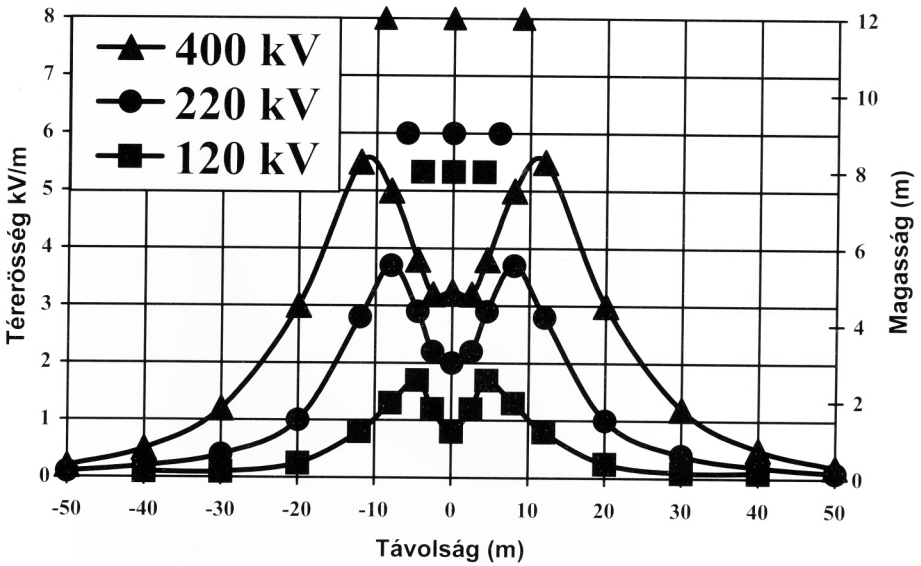
A legnagyobb figyelem a nagyfeszültségű távvezetékek körül kialakuló elektromos és mágneses terek mérésére és az ebből származó humán expozíció meghatározása felé fordult. A távvezetékek 50-60 Hz frekvenciájú elektromos és mágneses tere ELF térnek felel meg. A hullámhossz 50 Hz-en 6000 km, amely nem összemérhető a környezet tereptárgyaival, vagy az emberi test méreteivel.

Magyarországon a 750 kV-os távvezetéket 250 km, a 400 kV-os távvezetéket 2500 km, a 220 kV-os távvezetéket 7500 km hosszan telepítették. Más országokban, elsősorban ott, ahol az energiát nagyobb távolságokra kell szállitani, 1200-1300 kV-os távvezetékek is léteznek.

A távvezetékek háromfázisú táplálása miatt a mágneses teret keltő áram eredője kisebb, mintha az áram csak egy fázison folyna. Szemléletesen ezt úgy lehet elképzelni, hogy abban az esetben, amikor nagyságrenddel távolabb vagyunk a távvezetéktől, mint a három fázis egymástól való távolsága (a 750 kV-os távvezeték esetében 17.5-17.5 m), az eredő mágneses tér közel nullának tekinthető. Ebből következik, hogy csak a távvezetékek közvetlen közelében érdemes az expozíciót meghatározni és sugáregészségügyi kérdést felvetni.

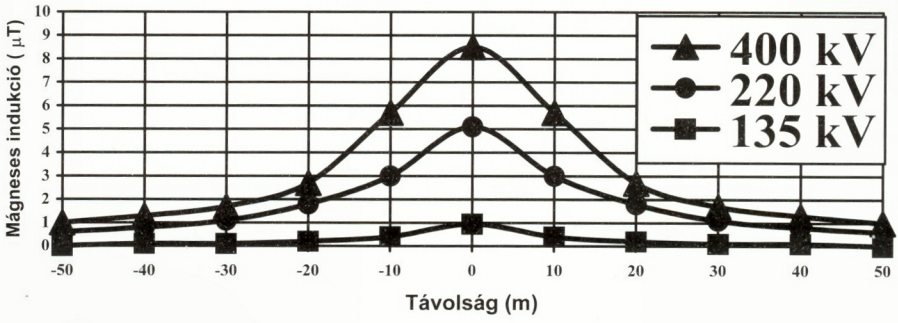
A távvezeték közvetlen közelében (50-100 m-en belül) kialakuló elektromos és mágneses tér távolságfüggése igen összetett. Durva közelítéssel, az eletromos tér a szélső vezetőtől $1/x^2$ - $1/x^3$ szerint, a mágneses tér $1/x^2$ szerint csökken. Az elektromos tér nagysága a távvezeték

alatt a távvzeték feszültségétől, ill. az átfolyó áramtól függ. A távvezetékek alatt az elektromos térerősség — a feszültség, és a vezető földfelszín távolság függvényében — a 12 kV/m-t is elérheti. Elektromosságot előállító erőművek körül 16 kV/m-t elérő elektromos tereket mérhetünk. A légkábeles távvezetékek alatt az átlagos mágneses indukció a 120 kV-os sokvezetős távvezetéknél az 1 μT-át, a 400 kV-osnál pedig a 9 μT-át is elérheti. Az elektromosságot előállító erőművek berendezései körül az átlagos mágneses indukció elérheti a 40 μT-át, de 270 μT-ás csúcsokat is mértek *(2. ill. 3. ábra és 2. ill. 3. táblázat).*



2. ábra

Különböző feszültségű távvezetékek környezetében kialakuló villamos térerősség *(kV/m)* fejmagasságban, a távvezeték tengelyétől mért különböző távolságokban. A jobboldali ordináta a pontokkal jelzett vezetők magasságát mutatja.



3. ábra

Különböző feszültségű távvezetékek környezetében kialakuló mágneses indukció *(μT)* fejmagasságban, a távvezeték tengelyétől mért különböző távolságokban.

2. táblázat

A távvezetékek környezetében kialakuló elektromos térerősségek 1,7 m magasságban

Elektromos térerősség (kV/m)			
Távvezeték névleges feszültsége (kV)	Maximális érték	Középvonaltól 25 m-re	Középvonaltól 40 m-re
120–135	1–2	0,05	–
245–275	4–6	0,2	–
400–420	6–11	1	–
525	8	2,3	0,8
750–800	10–12	8	2,5

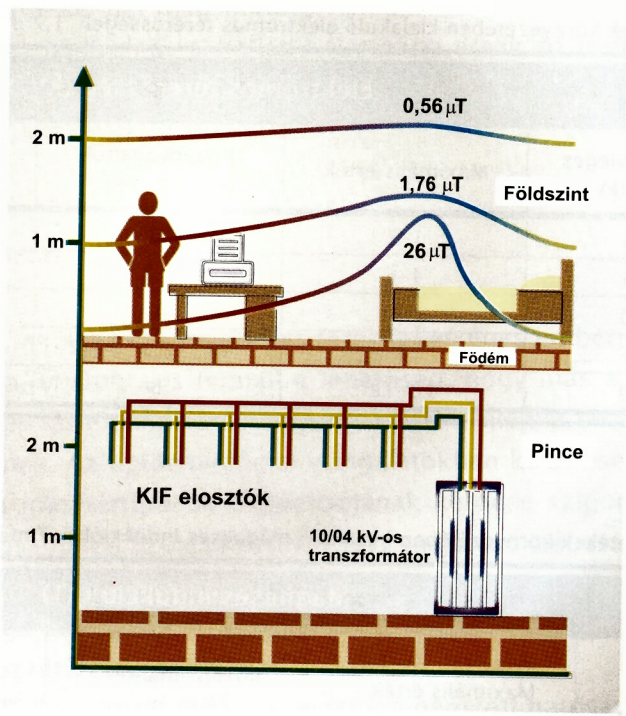
3. táblázat

A távvezetékek környezetében kialakuló mágneses indukciók 1,7 m magasságban

Mágneses indukció (μT)			
Távvezeték névleges feszültsége (kV)	Maximális érték	Középvonaltól 25 m-re	Középvonaltól 40 m-re
120	1	0,2	–
220	5	1,8	–
400	9	2,5	–

Épületbe telepített transzformátorok

Az utóbbi időben a nagyobb irodaépületek saját transzformátoral rendelkeznek, melyeket az alagsorba vagy a garázsok szintjére telepitenek. A transzformátorok környékén keletkező mágneses indukciók jóval nagyobbak lehetnek a távvezetékek környezetében előforduló tereknél. Külön problémát jelent, ha az épületbe telepített transzformátor, ill. az elosztósínek fölé is helyeznek lakásokat, irodákat. A transzformátor feletti lakásokban a mágneses tér magasabb az átlagosnál általában 1-10 μT között van, de intenzitása a távolsággal gyorsan csökken, a padlószinten maximum 50 μT mágneses indukció mérhető. Egy normál, elektromossággal ellátott lakásban a mágneses tér 0,05-0,2 μT között változik. Az EU és nemzetközi ajánlás állandó lakótéri tartózkodásra 100 μT-t engedélyez *(4. ábra).*



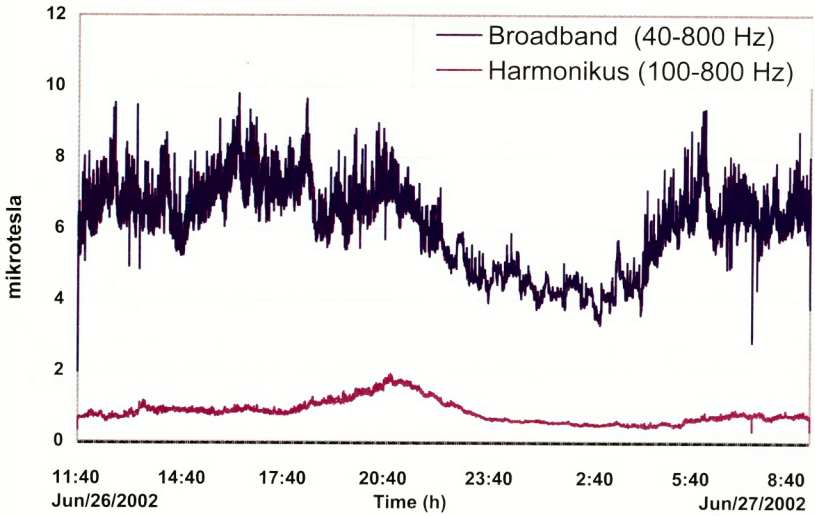
4. ábra

Tipikus mágneses tér értékek (mikroteslában), amelyek olyan másodlagos al-állomástól erednek, amit lakóház pincéjében helyeztek el. Láthatók a különböző források, amelyek ezeket a tereket keltik.

A legtöbb epidemiológiai tanulmányban, amely az elektromágneses terek egészségügyi hatását vizsgálja, a legmagasabb expozíciós szintek 0,2-0,5 μT körül vannak, ezért ezek nem szolgáltatnak információt a magasabb terek lehetséges egészségügyi hatásairól. Transzformátor-állomáshoz közeli lakásokban vagy irodákban akár néhány tíz mikrotesla mágneses indukció is mérhető. Finnországban kb. 4.000 transzformátor-állomás található lakóépületben, így kb. 10.000 személy él relatíve magasabb mágneses terekben. Ez nagy szám, összehasonlítva azzal a közel 500 személlyel, akik 110-400 kV-os távvezetékek alatt élnek 1 μT feletti expozíciónak kitéve. Hazánkban csak Észak-Magyarországon összesen több, mint 4000 transzformátorállomás található lakóépületben *(5. ill. 6.ábra).*

5. ábra

Tízemeletes panelház földszintjén elhelyezett transzformátorállomás.
A transzformátorállomás feletti területet általában lakás céljára használják



6. ábra

24 órás mágneses indukció lakóépületben elhelyezett transzformátorállomás esetében. Transzformátorok feletti helyiségekben gyakran mérhető 10-50 μT mágneses indukció. *(OSSKI mérés)*

Háztartási berendezések

Az 50/60 Hz-es tér fő forrásai lakóépületekben a háztartási készülékek (hajszárító, elektromos kályhák, hűtőszekrények, TV, hálózati ébresztő-óra/rádió, porszívó, vasaló, varrógép, stb.) is jelentős mágneses teret képesek létrehozni.

A háztartási berendezések közelében kialakuló mágneses tér egyes esetekben jóval meghaladhatja a távvezeték körül kialakuló mágneses indukciót. Mivel ezek általában relatíve rövid időtartamú expozíciókat edményeznek, és a terek intenzitása a készülékektől távolodva gyorsan csökken. Pontszerű forrást feltételezve, a mágneses tér csökkenését a távolság függvényében döntően az $1/x^3$ összefüggés irja le (x=távolság). Így az elektromos készülékekből származó összes személyi expozíció várhatóan elég alacsony.

A mai háztartásokban átlagosan az elektromos berendezésekből és a hálózatból származó 50/60 Hz-es elektromos térerősség *10-70 V/m* kö-

zött változik, a mágneses indukció maximuma legfeljebb 0,2–0,3 μT lehet. A készülékek körüli elektromos terek maximuma 500 V/m-t érhet el. [NRC, 1996]. Sok háztartási berendezés generál mágneses tereket, néhányuk 50–150 μT nagyságút, ami a tér forrástól való távolságának növekedésével arányosan csökken *(4.táblázat).*

4. táblázat

Különböző háztartási berendezések környezetében kialakuló 50 Hz-es mágneses indukciók

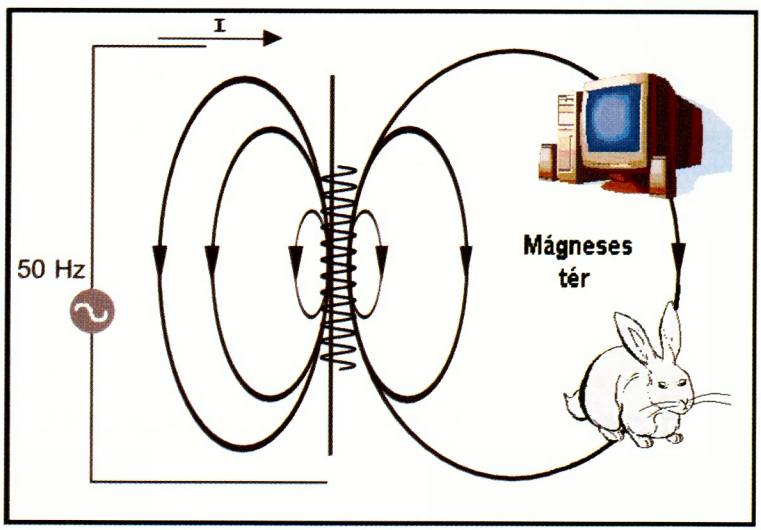
	Mágneses indukció (μT)		
Berendezés	3 cm-re	30 cm-re	1 m-re
Fúrógép	400–800	2–3,5	0,08–0,2
Elektromos konzervnyitó	1000–2000	3,5–30	0,07–1
Hajszárító	6–2000	<0,01–7	<0,01–3
Mikrohullámú sütő	75–200	4–8	0,25–0,6
Mosógép	0,8–50	0,15–3	0,01–0,15
Ruhaszárító	0,3–8	0,08–0,3	0,02–0,06
Mosogatógép	3,5–20	0,6–3	0,07–0,3
Elektromos tűzhely	1–50	0,15–0,5	0,01–0,04
Elektromos borotva	15–1500	0,08–9	<0,01–0,3
Elektromos kályha	10–180	0,15–5	0,01–0,25
Televízió	2,5–50	0,04–2	<0,01–0,15
Vasaló	8–30	0,12–0,3	0,01–0,025
Konyhai robotgép	60–700	0,6–10	0,02–0,25
Hűtőgép	0,5–1,7	0,01–0,25	<0,01
Kenyérpitító	7–18	0,06–0,7	<0,01

Számítógépes képernyők elektromos és mágneses tere

Széleskörű használatuk miatt nemcsak munkahelyi sugárvédelmi kérdésnek, hanem lakosságra is vonatkozó terhelésnek kell tekintenünk *számítógépes képernyők* elektromos és mágneses terét. A monitorok elektromos, ill. mágneses terének frekvenciája a hálózati 50 Hz mellett a típustól (színes, monokróm, multiszinkron stb) függően 15–60 kHz (rádiófrekvencia) között lehet. A nemzetközi adatok és saját méréseink is azt mutatják,

hogy az 50 Hz-es elektromos és mágneses terek a felhasználás helyén 1-10 V/m ill. 0,08-0,6 A/m (0,1-0,7 μT) között, a 15-35 kHz-es frekvenciákon 10 V/m ill. 0,17 A/m (0,21 μT) alatt vannak. Ez nem haladja meg a nemzeti szabványokban és nemzetközi ajánlásokban megengedett értékeket. A gyakori szem-, és bőrérzékenységgel kapcsolatos panaszok a statikus feltöltődésből eredő porszemek szembe, arcra történő becsapódásából erednek. Régebbi típusú képernyőknél ezt a károsító hatást elektromosan "leföldelt" képernyőszűrőkkel kizárhatjuk, az újabb típusoknál az elektrosztatikus feltöltődés már jóval kevesebb gondot okoz.

A képernyők hátoldalán mérhető nagyobb elektromágneses tér csökkenthető a monitorok átgondolt elhelyezésével. Célszerű a monitorokat U alakban úgy elhelyezni, hogy mögöttük senki ne tartózkodjon huzamosabb ideig *(7.ábra).*



7. ábra

A hálózati frekvenciájú mágneses terek kölcsönhatása elektronikus eszközökkel és a biológiai szövettel

A hálózati frekvenciájú mágneses tereknek képesek kölcsönhatásba lépni érzékeny elektronikus eszközökkel és olyan elektronsugaras készülékekkel, mint a TV és a számítógép képernyője. Ez 0,5 - 0,6 mikrotesla feletti mágneses tér értékek esetén jöhet létre.

Gyors lefolyású (tranziens) expozíciók

Az időben gyorsan változó és nem folyamatos, un. tranziens terek elsődlegesen a kapcsolásokból erednek. A frekvencia összetevők 50 Hz alattitól 500 MHz-ig terjedhetnek, de a legmagasabb frekvencia komponensük nagyon gyenge. A tranziensekből eredő mágneses indukciók 0,001 és 10 μT között vannak, erőteljes térbeli függéssel. A nagyfrekvenciás összetevők közvetlenül a kapcsolóból származnak, míg az alacsony frekvenciás tranziensek az elosztórendszer, az épület hálózata és a földelési áramutak mentén keletkeznek. Egy újabb vizsgálat szerint a tranziensek gyakoribbak a nagy kapacitású elosztó vezetékekhez közeli otthonokban és a legnagyobb tranziensek nagyobbak, mint az elosztó rendszer végénél levő hasonló lakásokban. A legtöbb tranziens 0,005 μT alatt van, de némelyik lehet 0,5 μT-ás nagyságú is. A távvezetékeknél kevésbé gyakoriak a tranziensek, a gyengébbek egy-két naponta jelentkeznek, az erősebbek ritkábban. Ezek alapfrekvenciája a 300-1400 Hz-es tartományba esik és a csúcs-amplitúdók a vezetékhez közel meghaladhatják a 8 μT-át. A tranzienseket a sejtek érzékelhetik, így azokat figyelembe kell venni a lehetséges egészségi kockázatokra vonatkozó expozíció meghatározásakor.

Állandó (sztatikus) elektromos és mágneses terek

Az atmoszférában jelentkező természetes elektromos terek jellemzően 120–150 V/m-esek, ugyanakkor bizonyos körülmények esetén, például villámok közelében elérhetik a 3 MV/m-t is. 20 kV/m alatti elektrosztatikus terek néhány nagyfeszültséget használó berendezés közelében is találhatók, mint pl. tévék és monitorok, vagy keletkezhetnek megfelelő anyagok összedörzsölésekor is. Az egyenáramú (DC) távvezetékek statikus elektromos és mágneses teret keltenek. Egy 500 kV-os DC távvezeték alatt az elektromos tér, a vezetők és a talaj távolságától függően a 30 kV/m-t, és a mágneses indukciók átlaga a vezetékben folyó áram függvényében a 22 μT-t is meghaladhatja.

A Föld természetes állandó mágneses tere 25–72 μT között változik (hazánkban kb. 46–48 μT), a csekély időbeli ingadozás néhányszor 10 nT. Hozzávetőleg 50 mT-ig terjedő mágneses indukcióval kell számolni azoknál a dolgozóknál, akik egyenárammal működő berendezéseket használnak. Ilyenek például az elektrolízist alkalmazó ipar, az egyenáramú tápfeszültséggel működő vasút, a fúziós reaktorok, vagy a nagyenergiájú fizikai kutatóhelyek. A jövőben a mágneses lebegtetésű vasút padlószintjénél a lakosság akár 50 mT-ig terjedő statikus mágneses térrel is találkozhat. A kis méretű mágnesrudak a mágnestől egy centiméteres távolságon belül akár 1–10 mT-ás mágneses indukciót is létrehozhatnak. Az orvosi diagnosztikában alkalmazott mágneses rezonancia képalkotó-rendszerek (MRI) akár 2,5 T-ás nagyságú indukcióval is exponálhatják a betegeket. Az MRI kezelőit érő legnagyobb foglalkozási expozíció kb. 5 mT. Olyan orvosi alkalmazásokat is kifejlesztettek, amelyek 10 T-ig terjedő terek alkalmazását is lehetővé teszik.

Az elektromágneses sugárzások dozimetriája

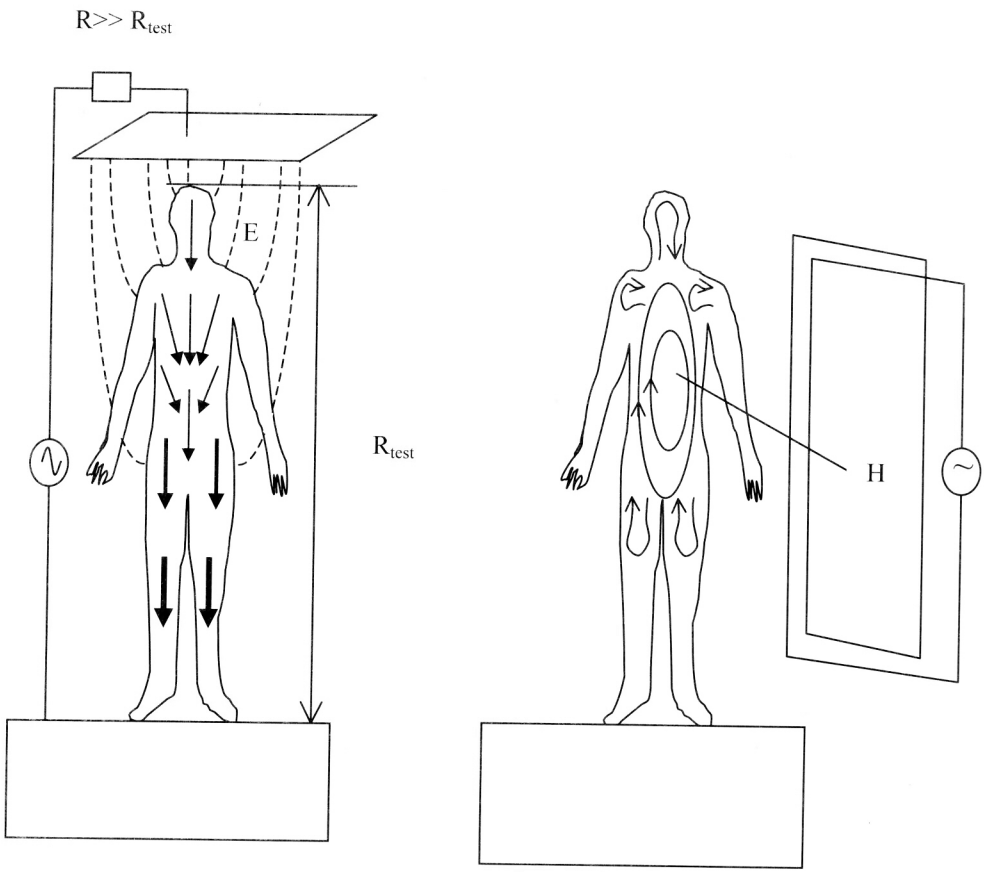
Az elektromágneses sugárzások az élő szövetben elnyelődve fejtik ki hatásaikat. Az elnyelt energia mennyisége függ: az élő szervezetet érő sugárzás teljesítményétől; hullámhosszától; az elő szövet méretétől; annak víztartalmától; felszínének jellemzőitől; és számos esetben a környezettől (a levegő hőmérsékletétől, páratartalmától, a besugárzás feltételeitől stb.). Tehát több esetben - pl. a hullámhossztól függően más és más mértékben - számolni kell az ionizáló sugárzásnál nem tapasztalt jelenségekkel, (pl. az indukált árammal, atermális hatásokkal). Ennek eredményeképp a hatást jól jellemző dózis rendszerint nagyon körülményesen mérhető. Ehhez hozzájárul az is, hogy az elektromágneses sugárzások széles spektrumában (0 Hz - $3x10^{15}$ Hz) egy-egy tartománynak egészen eltérő dozimetriai jellemzői vannak.

Dozimetriai egységek

A szabad levegőben a 300 kHz és 0,1 Hz frekvenciák közötti alacsonyfrekvenciás tartományt az elektromos térerősséggel (volt/méter = V/m) és a mágneses indukcióval (tesla = T) vagy mágneses térerősséggel (amper/méter = A/m) jellemzik.

Az alacsonyfrekvencás EM terek esetében, 10 kHz-alatt *az emberben (mint biológiai objektumban) történő elnyelődést* a testben keletkezett áramsűrűséggel írják le. Az elektromos tér hatására a földön álló ember testén átfolyó áram 50 Hz-es, 10 kV/m levegőben mért térerősség esetében 0,6 mA/m^2 és 20 mA/m^2 között változik. Egyenletes eloszlású külső elektromos tér esetében a legalacsonyabb áramsűrűség érték a fejben, míg a legmagasabb a bokánál keletkezik. Érdekes viszont, hogy a test felszínén keletkező elektromos térerősség 10-18-szorosa is lehet a levegőben mért térerősségnek. A mágneses térből a testen belül keletkező indukált elektromos tér által keltett örvényáramok arányosak a mágneses indukcióval és

az objektum vezetőképességével. Számítások szerint 1 μT horizontális 50 Hz-es mágneses tér közel 5 μA/cm² áramsűrűséget indukál az emberi testben *(8.ábra).*



8. ábra

Elektromos és mágneses tér által indukált áram az emberi testben. Az alacsony frekvenciájú elektromos (jobb oldali ábra) és mágneses tér (bal oldali ábra) áramot indukál az emberben, amelyet a testen átfolyó áramsűrűséggel (mA/m²) jellemeznek.

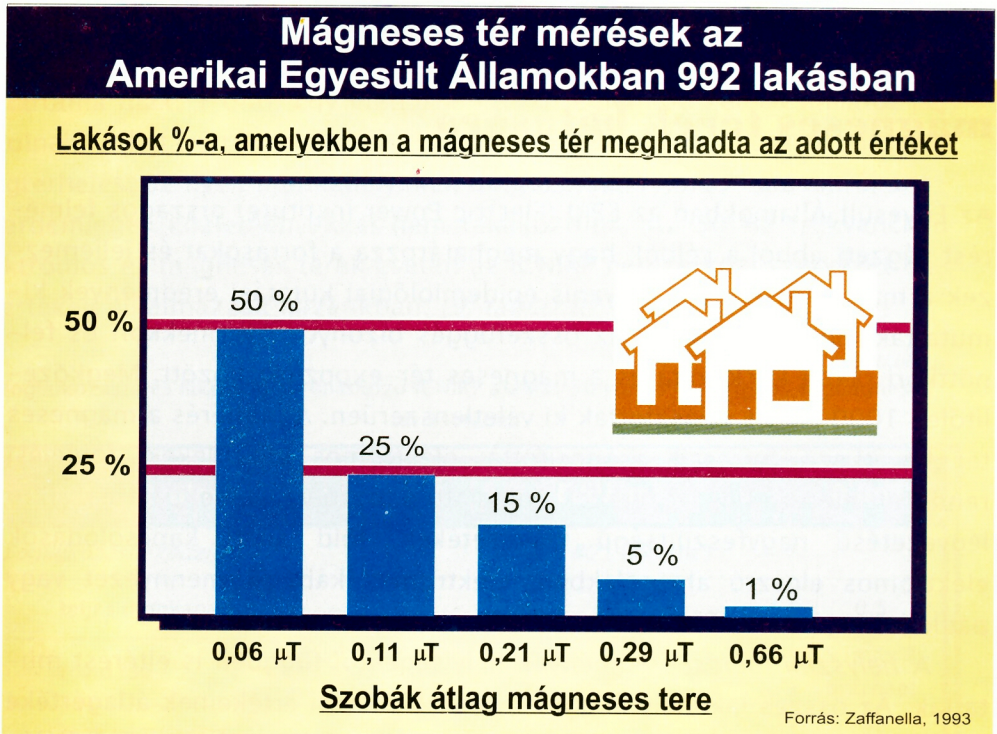
A lakosság expozíciója a környezeti alacsonyfrekvenciás mágneses terek hatására

Az Egyesült Államokban az EPRI (Electric Power Institute) országos felmérést végzett abból a célból, hogy meghatározza a forrásokat és jellemezzék a mágneses tereket, ugyanis epidemiológiai kutatási eredmények kimutatták, hogy lehetséges az összefüggés bizonyos gyermekkori és felnőttkori rákok kockázata és a mágneses tér-expozíció között. Megközelítőleg 1000 lakást választottak ki véletlenszerűen. A felmérés a mágneses tér következő forrásait azonosította: elektromos készülékek, földelési rendszer, elosztó felsővezetékek, földalatti elosztó vezetékek, áramszállító légvezetésű nagyfeszültségű távvezetékek, föld alatti kapcsolódások elektromos elosztó alpanelekben, elektromos kábelek mennyezet vagy padló hősugárzásos fűtéséhez.

A *helyszíni mérési* eredmények helyiségektől függően is eltérést mutattak. Az összes lakóhely átlagos helyszíni mérési értékeinek átlagértéke 0,09 μT volt. A konyhában mért értékek az átlag fölött voltak, míg a hálószobai értékek az átlag körül mozogtak. Az összes szoba átlagos helyszíni 60 Hz mérési értékeinek medián átlagértéke 0,06 μT: az átlagos helyszínen mért mágneses tér meghaladta a 0.06 μT-t a lakások (n=992) 50%-ában *(9.ábra).*

Megállapították, hogy amennyiben a teljes lakóteret és 24 órás időtartamot veszünk figyelembe, a *hálózati vezetékek* hozzák létre a legnagyobb átlagos lakóhelyi mágneses teret. Kimutatták azt is, hogy a lakóhelyek *földelési rendszerének* áramai szintén forrásai a lakóhelyi mágneses térnek. A földelési rendszerben általában alacsony az áramerősség (néhány amper). Ugyanakkor, ellentétben a közönséges hálózati vezetékekkel, ezek az áramok nincsenek kiegyenlítve, a földelési rendszerből eredő mágneses tér sokkal nagyobb variabilitást mutat térben és időben, mint a hálózaté. A kiegyensúlyozatlan természetük, és a lakótérhez való közelségük miatt a földelési rendszer áramai által keltett mágneses tér értékei némely esetben meg is haladják a hálózati áram keltette terekét.

A helyszíni mérések átlagértékeiben szignifikáns különbségek voltak: a terület típusa (város, kertváros, vidék), a lakóhely típusa (családi ház,



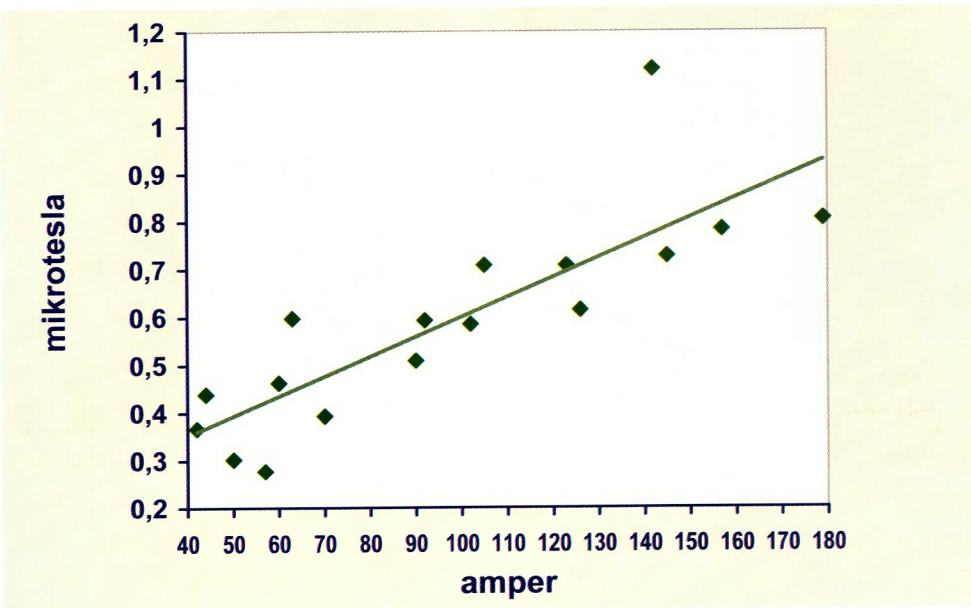
9. ábra

Mágneses tér mérések az Egyesült Államokban A medián mágneses tér 0,06 μT volt. Budapesten a 2002-2003-ban mért átlagos ágy melletti személyi dózis számtani átlaga 0,06 μT volt (n=76 lakás adat, ahol $B_{éjszakai}$ <0,2 μT) *(OSSKI mérés)*

ikerház, bérházi lakás, toronyház), a lakóhely építési éve szerint. A hálózati mágneses tér adott értékét nagyobb százalékban haladták meg a városi lakóhelyeken mért értékek, mint a kertvárosi vagy vidéki lakóhelyeké. A hálózati mágneses tér általában alacsonyabb egyedülálló családi házakban, és szignifikáns összefüggés van a lakóhely korával.

A vizsgálatsorozat során méréseket végeztek különböző távolságokra háztartási készülékektől (26 cm, 56 cm, 115 cm). A leggyakrabban mért készülékek: hűtőszekrény, hősugárzó, színes TV, fekete-fehér TV, légkondicionáló, mikrohullámú sütő, digitális óra/rádió, analóg óra/rádió, mennyezeti ventillátor, fluoreszcens lámpa.

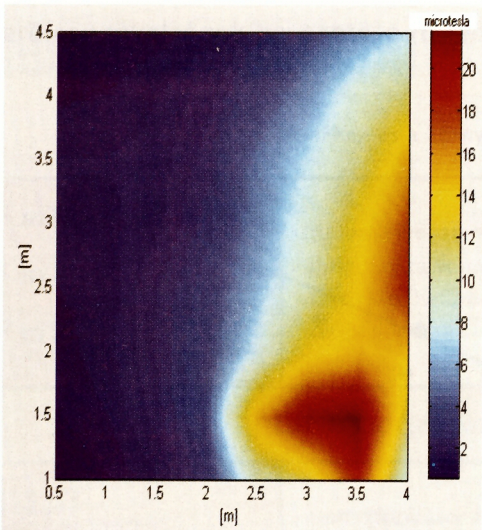
Az Országos Sugárbiológiai és Sugáregegészségügyi Kutatóintézetben a Nemzeti Kutatásfejlesztési Program (NKFP—1/008/2001) keretében végezték tízemeletes panel lakóépületekben elhelyezett transzformátorállomások által keltett mágneses terek felmérését a transzformátorok feletti lakószobákban. A keltett mágneses tér a transzformátorsíneken átfolyó áramerősség függvényét mutatja a *10. ábra.*



10. ábra

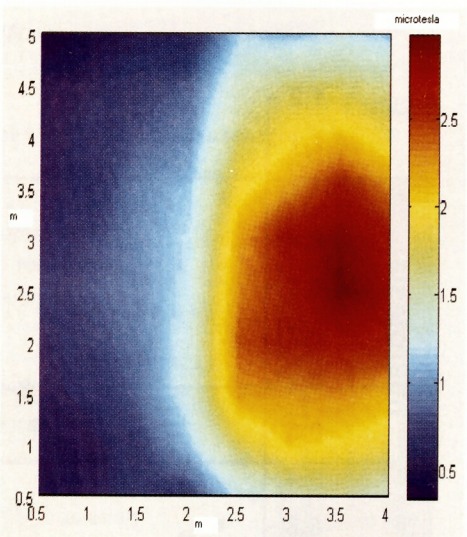
A 10/04 kV-os transzformátor feletti szobák átlagos mágneses indukciója (μT) a transzformátorsíneken átfolyó áramerősség átlagával szignifikáns összefüggést mutat ($p < 0,001$). (Szoba átlagos indukciója 24 pillanatnyi mintavételi adat átlaga. Mintavétel méteres négyzetháló szerint, az 1-24-es csomópontokban történt a padló felett 1m magasságban.) *(OSSKI mérés)*

A mágneses tér eloszlása a transzformátor feletti szobában erősen inhomogén volt. Az alatta levő transzformátor sínek felett padló szinten *(11/a ábra*), de még egy méter magasságban *(11/b ábra)* is magasabb mágneses indukció mérhető.



11/a ábra

40-800 Hz frekvenciasávban mért mágneses indukció térbeli megoszlása padlószinten 10/04 kV-os transzformátorállomás felett. A padlón mért szobaátlag 5,63μT. A mért legmagasabb érték 21,8 μT.



11/b ábra

40-800 Hz frekvenciasávban mért mágneses indukció térbeli megoszlása 1m magasságban 10/04 kV-os transzformátorállomás felett. Az egy méter magasságban mért szobaátlag 1,38 μT. A mért legmagasabb érték 2,96 μT.

Megjegyzés: A transzformátor sínek kb.10cm távolságra futnak a födém alatt. *(OSSKI mérés)*

Személyi dozimetria

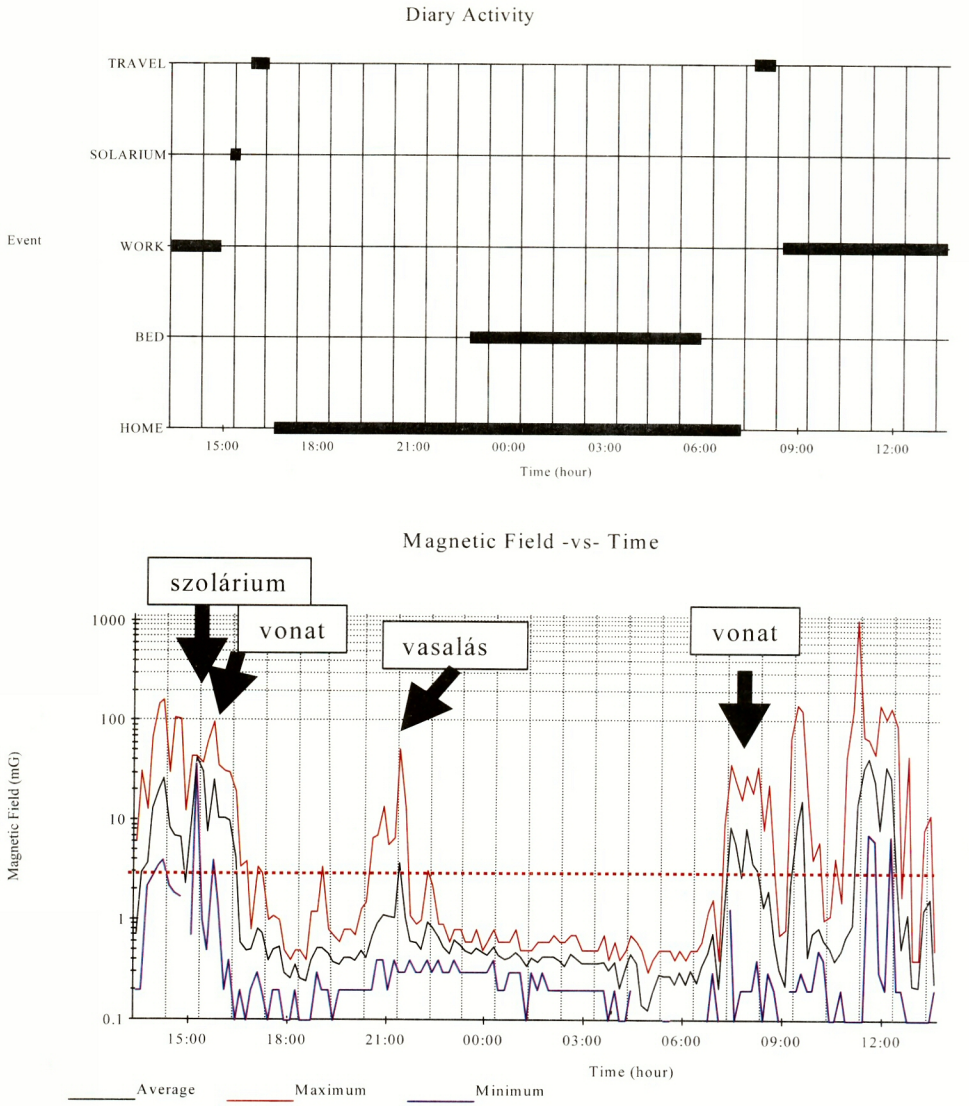
Tekintettel arra, hogy a környezetünkben előforduló mesterséges mágneses terek eloszlása időben és térben rendkívül változó, az egyén viselkedési szokásai határozzák meg hogy hol, mikor, mennyit, valamint hogy milyen elektromos berendezés mellett tartózkodik, és milyen elektromos készüléket használ, ezért a tényleges személyi expozíció mértékét legcélszerűbben személyi dozimeterrel lehet meghatározni. A legújabb ala-

csonyfrekvencás (ELF) személyi dozimeterek kifejlesztésével lehetővé vált a mindenkori, adott személyes környezet monitorozása. (pl EMDEX család, Enertech, California).

A személyi expozíció mérése során figyelembe kell venni azt is, hogy a személy a nap folyamán a lakás mely pontján, mikor és mennyi ideig tartózkodik; mikor, milyen elektromos készüléket használ, és mennyi ideig. Ismerni kell a használt készülékek által keltett mágneses teret működés közben és a használat gyakoriságát és időtartamát, a készülék távolságát használat közben, stb. Itt még azt nem is vettük figyelembe, hogy a személy nem csak otthon tartózkodik, hanem a munkahelyén vagy az iskolában is, ahol szintén használhat készülékeket, vagy lehet a közelben nagyobb EM forrás. Azon kívül utazik (villamossal, vonattal), bevásárolni jár (bolt, bevásárlóközpont), szórakozni jár (színház, mozi, bevásárlóközpont), edzőterembe jár (elektromos meghajtású kondigépek, szolárium, ami nem csak ultraibolya sugárzást ad, hanem ELF mágneses teret is), stb.

A dozimeter akár 24 órán keresztül hordható. Éjszaka az ágy mellé kell helyezni a dozimétert az ágy magasságába, lehetőleg távol elektromos készüléktől. Az éjjeliszekrényre helyezett dozimeter, ami a hálózati árammal működő ébresztőóra/rádió mellé kerül, nem a lakás hátterét fogja mérni, hanem az adott készülék által keltett mágneses teret. A nap folyamán végzett tevékenységek kezdési idejét és befejezését a kapott naplóba kell feljegyezni. A főbb tevékenységtípusok a következők: otthon tartózkodás, éjszakai alvás, munkahely, utazás, egyéb (pl. elektromos eszköz használata, mint TV, számítógép, hajszárító, vasaló, stb.)

Az alábbi ábrák személyi dozimeterrel gyűjtött adatsorral mutatnak példát a személyi expozícióra. Az EMDEX-PAL (Enertech) személyi dózismérő fél másodpercenként, három tengely mentén méri a mágneses indukciót 0,01-100 μT tartományban, széles sávban (40-1000 Hz). A készülékben levő program a 10 perces periódusok eredő adatait statisztikailag elemzi és tárolja *(12. ill. 13.ábra).*

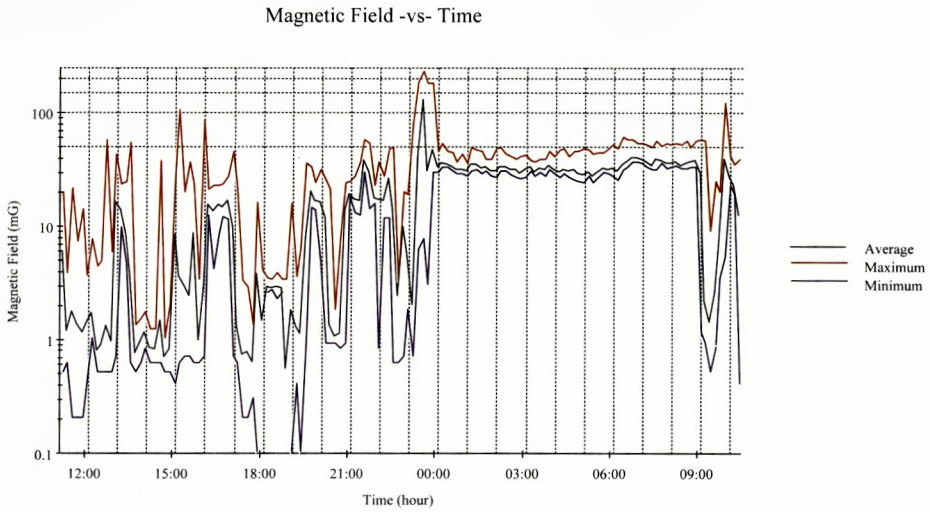


12. ábra

A mért személynél az otthoni (0,050 μT) (ágy mellett éjszaka 0,038 μT) expozíció alacsony volt. A vizsgált személy 21h körül vasalt (EMDEX PAL). Az átlagot meghaladó expozíciónak volt kitéve: vonattal történő utazásnál (0,753 μT); a munkahelyén (0,826 μT), ahol elektromos készülékkel dolgozott, és a szoláriumban, ahol a dozimétert a fejénél volt elhelyezve. Jó példa ez arra, hogy a szolárium optikai sugárzása mellett nem elhanyagolható 50 Hz-es mágneses teret is kelt (20 perc átlaga 3,611 μT).

Megjegyzés: Az ICNIRP 50 Hz-es mágneses tér határérték lakosságra vonatkozó ajánlása 100 μT (mikrotesla).

Az átlag lakossági ELF mágneses expozíció < 0,2 μT. (1 mG=0,1 μT) *(OSSKI mérés)*



13. ábra

Személyi expozíció 10/04 kV-os transzformátorállomás feletti lakásban (EMDEX PAL). Az ágy melletti éjszakai expozíció az átlagnál nagyságrendekkel magasabb (3,430 μT), ami arra utal, hogy a lakó ágya közel volt a transzformátor sínekhez, amelyek a padlózat alatti helyiség mennyezetétől 10 cm-re voltak felhelyezve. A vizsgált személy egész nap otthon tartózkodott (otthoni átlaga 2,249 μT). A nappali, időben erősen változó személyi dózis a lakó helyváltoztatásait mutatja az erősen inhomogén mágneses térben.

Megjegyzés: Az ICNIRP 50 Hz-es mágneses tér határérték lakosságra vonatkozó ajánlása 100 μT (mikrotesla). Az átlag lakossági ELF mágneses expozíció < 0,2 μT. (1 mG=0,1 μT)

(OSSKI mérés)

Biológiai hatások és egészségi következmények

Számos összefoglaló látott napvilágot az ELF terek biológiai hatásairól, kevés tanulmány kísérelte meg azonban a terek olyan jellemző határértékének meghatározását, amely felett az elektromágneses tér szignifikáns zavart okoz a biológiai funkcióban. Az adatok kiértékelését nehezítette, hogy sok az egymásnak ellentmondó kísérleti eredmény. Gyakran nem vizsgálták a dózishatás összefüggést, illetve néha csak bizonyos intenzitások esetében (ún. expozíció-ablakokban) találtak hatást, azon kívül nem. Bizonyított tény, hogy amennyiben az indukált áramsűrűség meghalad egy bizonyos határértéket, az indukált áram képes közvetlenül ingerelni az ideg és izomszövetet. Azok az áramsűrűségek, amelyek nem képesek a szövetek közvetlen ingerlésére, ettől függetlenül hatást gyakorolhatnak az éppen folyó elektromos tevékenységekre és befolyásolhatják az idegi ingerelhetőséget. A központi idegrendszer tevékenysége érzékeny a szomszédos idegsejtek működésekor keletkező belső elektromos terekre olyan szinteken is, amelyek a közvetlen ingerléshez szükségesnél jóval alacsonyabbak.

Több vizsgálat is megállapítja, hogy a gyenge elektromos jelek transzdukciója kölcsönhatásokat eredményez a sejtmembránban. Ezek a kölcsönhatások citoplazmatikus biokémiai változásokhoz vezetnek, amelyek befolyásolják a sejt működését és osztódását. Egy sejt gyenge térben való viselkedésének egyszerűsített modelljéből kiszámítható, hogy az extracelluláris folyadékban levő elektromos jelnek nagyobbnak kell lennie 10-100 mV/m-nél (amely megfelel kb. 2-20 mA/m^2 indukált áramsűrűségnek) ahhoz, hogy meghaladja a belső fizikai és biológiai zajt a sejtmembránban. Egyes eredmények azt mutatják, hogy a membránok egyes szerkezeti és működési tulajdonságai 100 mV/m-nél vagy alatta megváltozhatnak. 10 mV/m-es vagy annál kisebb indukált elektromos terek hatására kimutattak szövetekben zajló működési változásokat, például neuroendokrin rendszerbeli változásokat (pl. az éjszakai melatonin szintézis csökkentése) is. Jelenleg nincs egyértelmű bizonyíték arra, hogy ezek az eredmények reprodukálhatók-e, illetve, hogy az expozíció mely tarto-

mányában jelentkeznek, illetve lehetnek-e egészségre káros következményei. A szövetekben található belső jeleket meghaladó szintű indukált elektromos tereknél és áramoknál számos fiziológiai hatást találtak. Ezek a hatások az indukált áramsűrűség növekedésével arányosan súlyosbodnak. A 10-100 mA/m² áramsűrűség-tartományban szövetszintű hatások figyelhetők meg, mint például a törött csontok gyógyulásának felgyorsulása vagy az agy tanulási folyamataiban bekövetkező változások. Kb. 10 Hz és 1 KHz frekvenciák között a 100 mA/m² feletti indukált áramsűrűség meghaladja az idegi és az izom ingerlés határértékét. Az áramsűrűség határértékei progresszíven nőnek a néhány Hz alatti és 1 kHz feletti frekvenciákon. Az 1 A/m² -t meghaladó nagyon magas áramsűrűsé-geknél súlyos és potenciálisan életveszélyes hatások, mint pl. szívritmuszavar (extrasystole), kamrai fibrilláció, izomgörcs és légzéshiány jelentkezhetnek *(5.táblázat).*

5. táblázat

Biológiai hatások az indukált áramsűrűség függvényében

mA/m²	Hatások
1-10	kisebb biológiai hatások
10-100	jól ismert hatások, pl. a látásra és idegrendszerre
100-1000	veszélyes lehet az egészségre, pl. ingerelhetö szövetek stimulálása
1000 felett	akut életveszély, extra systole és kamrai fibrilláció jelentkezhet

A nemzetközi testületek által alkalmazott kritériumoknak megfelelően különbséget kell tenni a kölcsönhatás, biológiai hatás, és egészségre veszélyes hatások között: biológiai hatás akkor jelentkezik, amikor az elektromágneses tér kölcsönhatása következtében sejtszintű válasz jön létre, függetlenül attól, hogy az alany érzékeli, vagy nem. Az, hogy a biológiai változásoknak van-e egészségre gyakorolt következménye, részben attól függ, hogy azok reverzibilisek-e, azaz abban a tartományban vannak-e, ahol a test hatékony kompenzációs mechanizmussal rendelkezik, avagy tekintetbe véve az egyének válaszreakciói közötti különbségeket, nem kívánatos egészségi változásokhoz vezetnek. Ezek a definíciók hasonlóak, de kicsit szélesebb körűek, mint amelyeket a kémiai toxikológiai vizsgálatokban alkalmaznak.

Epidemiológiai vizsgálatok

A távvezetékek környezetében élő lakosságra vonatkozó epidemiológiai vizsgálatok már több mint 20 évvel ezelőtt elkezdődtek, az első nagy vitát kiváltó eredményt 1979-ben publikálták. Ebben a szerzők nem kevesebbet állítottak, minthogy a leukémiában (illetve az összes rákbetegségben) elhunyt gyermekek között szignifikánsan több azoknak a száma, akik a távvezetékek környezetében éltek. A jelenség okaként a mágneses expozíciót jelölték meg. Az eredmény nagy szakmai vitát váltott ki, elsősorban a vizsgálat módszereivel kapcsolatban. Legtöbben azt kifogásolták, hogy a mágneses expozició nem mérésen, hanem becslésen alapult, a távvezetékek jellegének és lakóépületekhez viszonyitott távolságának (ún. "wire code") figyelembevételével. Ezt követően egy másik amerikai kutatócsoport hasonló expozició-becslés alapján nem talált ugyan összefüggést a gyermekkori leukémia és a távvezetékek mágneses expozíciója között, de ebben a vizsgálatban a kontroll csoport kiválasztása vitatható volt. Egy szintén amerikai vizsgálat "wire-code" expozíció becslés alapján a gyermekkori leukémia gyakoriságában szignigfikáns növekedést mutatott ki, de ugyanazon populáció esetében, helyszíni műszeres méréssel meghatározott expozícióval ez a gyakoriság növekedés már nem volt szignifikáns. Érdekesség, hogy a felnőtt lakosságnál egyik vizsgálatban sem találtak szignifikáns különbséget a távvezetékhez közel élők és a kontroll csoport között

Több tanulmány együttes kiértékelése szerint a távvezeték közelében található otthonban való tartózkodás a gyermekkori leukémia megközelítően kétszeres többletkockázatával jár együtt. Fontos azonban megjegyezni, hogy az irodalom nem egységes álláspontot képvisel azokon a területeken, ahol az expozíció különféle jellemzőit használó vizsgálatokat összehasonlítják vagy kombinálják (pl. a távvezetéktől való távolság és/vagy a távvezetékből számított mágneses tér), a kockázat növekedése statisztikailag szignifikáns.

Noha a zavaró tényezők vagy metodikai hibák, a vizsgált esetek kiválasztásánál befolyásolhatják a vizsgálatokat, valószínűtlen, hogy az összefüggés egész jellegéért felelősek lennének. A legtöbb vizsgálatban a gyermekek otthonaiban mért mágneses tér szintek átlaga kevésbé szo-

rosan kapcsolódik a gyermekkori leukémia vagy más daganattípusok előfordulási gyakorisági többletéhez.

Napjainkig a legtöbb epidemiológiai vizsgálat a mágneses térre koncentrált, bár a foglalkoztatottakkal kapcsolatos vizsgálatokban létezik elektromos terekre vonatkozó elemzés is. A vizsgálatok elsődlegesen a rákkal foglalkoznak, de a szaporodásra gyakorolt hatást és néhány idegrendszeri betegséget szintén vizsgáltak. A szívbetegséggel foglalkozó szakirodalom elenyésző mennyiségű.

Az egészségre gyakorolt hatásokat vizsgáló tanulmányok nem szolgáltatnak megfelelő bizonyítékot az ELF mágneses terek expozíciója, illetve a felnőttkori rákbetegség, a terhességre gyakorolt hatások vagy az idegrendszeri betegségek közötti összefüggésre. A foglalkozási vizsgálatok általában a munkaköri beosztásokra vonatkoznak, elvétve kombinálják őket munkahelyi ELF mérésekkel abból a célból, hogy megállapítsák van-e összefüggés az elektromágneses terek expozíciója és a rák kialakulása között. Az eredmények egyes ráktípusok fokozottabb kockázatát mutatták. Az elektromos iparban dolgozók összesített rák többletkockázata, összehasonlítva más iparágakkal, kicsi és epidemiológiai eszközökkel nehezen vizsgálható. A vizsgálatok további problémái az expozíció meghatározásának hiánya és a lehetséges egyéb, eredményt befolyásoló (gyengítő) tényezők.

Az epidemiológiai vizsgálatoknál szintén alapvető probléma, hogy a dózis vagy a laboratóriumi vizsgálatokból származó expozíció mérőszámát illetően nem egységes az elképzelés. A leggyakrabban használt mérőszámok a kumulatív expozíció, avagy a térerősség időre súlyozott átlaga. Nagyon kevés információ lelhető fel a készülékek expozíciójáról, a földelési áramokról vagy a tranziens terekkel összefüggő berendezésekről.

Szabványok és határértékek

Általános alapelvek a szabályozásban

Általánosan elfogadott alapelvnek tartjuk, hogy az ajánlások, szakmai rendeletek előkészítése során az elektromágneses terek használatára vonatkozó szabályozásnak biztosítania kell a sokféle egyéni, csoport és gazdasági érdek összhangját, ugyanakkor elsőbbséget kell adnia a *környezet- és egészségvédelem* szempontjainak, anélkül, hogy gátolná a korszerű technológiák nemzetgazdasági elterjedését. Biztosítani kell továbbá, hogy ezen alkalmazások egészségkárosító hatásainak kockázata és mértéke ne haladja meg a társadalom számára elfogadható és az alapvető sugárvédelmi szabályozásban rögzített szintet.

Számos nemzeti és nemzetközi ajánlás és szabvány foglalkozik az EMF terek egészségügyi határértékeivel. A legszélesebb körben elfogadott ajánlásokat a Nemzetközi Nem ionizáló Sugárvédelmi Bizottság *(International Commission on Non-Ionising Radiation Protection, ICNIRP)* fogalmazta meg, amely 1998-ban általános ajánlást tett közzé az elektromágneses sugárzások határértékeiről (ICNIRP 1998, www.icnirp.de). Mivel hazai szabvány nincs, így a gyakorlatban az ICNIRP ajánlását szokásos mértékadónak tekinteni. A szabványok megengedhető értékeinek alapját (basic restrictions) 10 kHz alatt (igy a 50 Hz-en is), a külső EM tér által az emberi testben indukált áramsűrűség adja. Ebből az értékből származtatják (modellek alapján számítva) az adott áramsűrűséget létrehozó maximálisan megengedhető külső elektromos térerősséget, illetve mágneses indukciót.

Az Európai Unióban az Európai Tanács, a Római Szerződés 3. cikkelyébe foglalt egészségvédelmi elv alapján 1999. július 12-én ajánlást tett közzé, amely a lakosságot érő nem-ionizáló elektromágneses sugárzást hivatott korlátozni. Az ICNIRP és az Egészségügyi Világszervezet (WHO) megállapításait figyelembe véve, a Tanács alapkorlátként meghatározta az emberi szervezet által elnyelt sugárzásmennyiség felső határát, továbbá

megengedhető határértékként a külső, levegőben mérhető sugárzás felső korlátait. A szubszidiaritás és az arányosság elvének megfelelően az Európai Unió azonban csak általános elveket és módszereket írt elő a kérdésben, és a tagállamokra bízza a részletes törvényi szabályozást és rendeleti előírást, az információterjesztés és a lakosság tájékoztatásának feladatát, valamint a kutatások támogatását és eredményeik kommunikálását. Az ajánlás fontos pontja hangsúlyozza, hogy a "lakosságot érintő elektromágneses tér korlátozásának *egyensúlyban kell lennie* az elektromágneses hullámokkal működő eszközök olyan egészségügyi és biztonsági előnyeivel, amelyekkel hozzájárulnak az életminőség javításához a telekommunikáció, az energiaipar és a közbiztonság területén".[EU 1999]

A WHO és az ICNIRP az egészség védelme alapján alakítja ki a határértékeit. Az Európai Közösség 1999-ben kiadott ajánlása is alapvetően ennek az elvnek a mentén az ICNIRP határértékein alapul. Az *egészség védelme* alapján kialakított határértékek tudományos kutatás (tudományos folyóiratban publikált) eredményein alapulnak, *a tudományos közélet konszenzusa* mellett. Ha egy bizonyos dózis-nagyságnál bármilyen egészségre gyakorolt hatást találnak, ez képezi azt az alapot, amelyre az ún. *biztonsági faktorokat* alkalmazzák. A biztonsági faktor a lakosság esetében általában ötvenszeres, ami azt jelenti, hogy a megengedett felső határérték a hatásosnak bizonyult dózis legalább ötvened része. Lényeges, hogy a hivatkozott hatásokat a várható egészségügyi következmények szempontjából is meg kell vizsgálni. A megismételt kísérletes vizsgálatok döntő fontosságúak.

Az EU Tanácsa a jövőre nézve felkérte az Európai Bizottságot egy európai szabvány megalkotására, valamint kutatások támogatására és a nemzetközi szervezetek munkájának figyelemmel kísérésére és az ezekben való esetleges részvételre. A hazai szabványharmonizáció feladatát a Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) látja el.

Az elektromágneses terek sugárvédelmi koncepciójának kialakításánál az utóbbi időben egy másfajta szemlélettel, az *elővigyázatosság elvén alapuló (precautionary based)* megközelítéssel is találkozhatunk. Ez sokkal szigorúbb határértékeket tartalmazna, de szakmai körökben kevéssé elfogadott. Az *elővigyázatosság elve* alapján a határértékeknek a technológiailag megvalósítható legalacsonyabb értékekből kellene kiindulnia, ahon-

nan a gazdasági megfontolások és az összegyűlt tudományos ismeretek alapján lehetne elmozdulni Bármely biológiai hatásról azt feltételezi, hogy káros egészségi következménnyel járhat. Sok esetben egyéb kiegészítő intézkedéseket is javasol a magasabb fokú egészségvédelem biztosítása érdekében. Ilyenek például az elővigyázatos megközelítés, az önként vállalt alacsonyabb határértékek betartása (betartatása) és a biztonsági (elkerülési) távolságok bevezetése *(6.táblázat).*

6. táblázat

Az 50/60 Hz-es határértékek és a környezetben mért értékek összehasonlítása

5 mT **5 mT /10 = 500 μT** **5 mT / 50 =100 μT**	tudományosan megalapozott hatás dolgozókra vonatkozó határérték lakossági határérték állandó tartózkodásra	?
Lakossági jellemző expozíciók:		
1-3 μT **0,5-0,6 μT** **0,06 μT**	transzformátor fölötti 24órás átlag távvezeték mellett lakossági átlag (Budapest, 2003, n=76 lakás	?

Megjegyzés: 0,3-0,4 μT feletti tartós otthoni mágneses tér az epidemiológiai vizsgálatok által megalapozott hatás alapján (gyermekkori fehérvérűség) történt besorolás szerint: „lehetséges emberi rákkelő (2B)". www.osski.hu (IARC/WHO 2001)

Nemzetközi szabványok és ajánlások

Az EU-országok javaslattevői között nagy különbségek találhatók a lakosságra megengedhető mágneses tér nagyságára vonatkozóan. Míg az északi államok (Svédország, Dánia, Finnország), vélhetően az epidemiológiai eredmények alapján, 50 Hz-es frekvencián alacsony indukciókat engednének, (~ 500 nT) az ajánlás jelenleg 100 μT-t javasol, amelyet az ICNIRP is ajánl. A lakosságra megengedhető értékek körül is a vita folytatása várható, hiszen például az ICNIRP mágneses indukcióra vonatkozó értékei olyan magasak, hogy azok a környezetben, a nagy ipari berendezéseket, turbinákat, transzformátorokat, távvezetékkek alállomások egyes helyeit kivéve, szinte sehol nem fordulhatnak elő.

Az 50 Hz frekvenciájú elektromos és mágneses terek esetén a nemzetközi szervezetek lakosságra (*7. táblázat)* és a dolgozókra (*8. táblázat)* az alábbi határértékeket ajánlják.

7. táblázat

A lakosságra vonatkozó ICNIRP ajánlás és az EU ajánlás 50 Hz-es elektromos és mágneses tér esetében

	ICNIRP	*EU*
Indukált áramsűrűség (mA/m^2)	2	2
Elektromos térerősség (kV/m)	5	5
Mágneses indukció (μT)	100	100
Érintési áram (mA)	-	1,5

8. táblázat

A dolgozókra vonatkozó ICNIRP ajánlás 50 Hz-es elektromos és mágneses tér esetében

	ICNIRP
Indukált áramsűrűség (mA/m^2)	10
Elektromos térerősség (kV/m)	10
Mágneses indukció (μT)	500
Érintési áram (mA)	-

Az ICNIRP ajánlás szerint a statikus mágneses térre vonatkozó besugárzási határérték, páciensek esetén 2 T, egy vizsgálat során (vizsgálat időtartama max. 1 óra). Egy élettartam alatt legfeljebb két vizsgálatot javasolnak. A határérték szakszerű betartása mellett nem okozhat nagyobb megterhelést az ilyen munkahelyeken dolgozóknak. Káros hatásokról szóló érdemleges közleményekkel nem találkoztunk. Az 50 Hz frekvenciájú elektromos és mágneses terek esetén az ICNIRP nemzetközi szervezet határértékeit alkalmazzák hazánkban: *(9. táblázat)*

9. táblázat

A foglalkozásra és lakosságra vonatkozó ICNIRP ajánlás 50 Hz-es elektromos és mágneses tér esetében

Körülmény	E(kV/m)	B (mT)
Foglalkozási expozíció	*($t_{óra}$ < 80 / E(kV/m)*	
teljes munkanap	10	0,5
rövid idő	*30*	5 (max 2 óra/nap)
csak végtagokra	-	*25*
Lakossági expozíció, teljes nap	5	0,1
Napi néhány óra	10	1

A korlátokra vonatkozó nemzetközi ajánlások betartása technikailag megoldható. Az elmúlt 15 évben azonban számos közlemény jelent meg arról is, hogy a megengedett szintek alatt is számolni lehet egyes daganatos betegségek fokozott kockázatával.

Az egészségügyi határértékek ellenőrzésének és betartatásának módozataival kapcsolatos munka elkezdődött, amelyben a szakmai hátteret az Országos Közegészségügyi Központ Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet (OKK-OSSKI) Nem-ionizáló Sugárzások Főosztálya, a hatósági jogkört az Országos Tisztiorvosi Hivatal (OTH) által felügyelt Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (ÁNTSZ) biztosítja. Ez a tevékenység, pl. az EU tagállam Anglia (National Radiation Protection Board, NRPB), illetve Németország (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS) hasonló intézményeiben történik.

Összefoglalás

Az elektromágneses terek élő szervezetekre gyakorolt hatásainak kutatása jelentős fejlődés előtt áll. A kellő ismeretek hiányában az Európa Tanács is a kérdés elővigyázatos kezelését („precautionary approach") vetette fel. További vitát igénylő kérdés az ionizáló sugárzásoknál elfogadott, ún. *ALARA (As Low As Reasonable Achievable)* vagyis, *"Az ésszerűen elérhető legalacsonyabb sugárzási szint"* elv alkalmazása. A nemzetközi és EU-szabályozás és szabványosítások még folyamatban vannak, de sok területen nincs egyetértés az EU-tagországok szakemberei között sem. A szabályozási, szabványosítási munkát nehezíti, hogy számos esetben a technikai, ipari előrehaladás megelőzte az egészségügyi-környezetvédelmi megfontolásokat. A gyakorlati alkalmazást hátráltatja az is, hogy szabványokhoz tartozó méréstechnikai eljárásokat is csak most dolgozzák ki. További nehézség, hogy a megengedhető határértékek megállapításánál, a már meglévő lakossági expozíciós szinteket is figyelembe kell(ene) venni. Az egészségügyi határértékek nemzetközi egységesítésének egyik legfőbb akadálya azonban, hogy a tudományos kutatás a nem-ionizáló sugárzások egyes területein (pl. 50 Hz-es mágneses terek, egyes típusú rádiófrekvenciás sugárzások) nem talált egyértelmű dózis-hatás összefüggéseket. Sőt, egyes kísérleti eredmények arra mutatnak, hogy a kisebb expozíció nagyobb biológiai hatást produkálhat avagy más körülmények is befolyásolhatják. Végül, a szabványok, ajánlások kialakítását, alkalmazását az is nehezíti, hogy az elektromágneses sugárzások a civilizált társadalomban nem küszöbölhetők ki. A lakosság expozíciója várhatóan növekedni fog, akár az eddigi trendeket, akár a jövőre vonatkozó fejlesztési terveket tekintjük.

A tudományos bizonytalanság miatt szerte a világban — kormányzati szinten és azon kívül is — fokozott elmozdulás észlelhető az egészségi kockázatkezelés tekintetében az „elővigyázatos megközelítés" elfogadásának irányába. Az *elővigyázatossági elv* olyan kockázatkezelési irányelv,

amelyet nagyfokú tudományos bizonytalanság esetén alkalmaznak, válaszolva az esetlegesen súlyos kockázat ellen teendő intézkedések szükségességére, a tudományos kutatások eredményének kivárása nélkül. A WHO-t számos körülmény arra biztatta, hogy vegye számításba az *elővigyázatossági elv* szigorú alkalmazásának szükségességét a veszélyek felbecsülésekor, és megelőzőbb, hatékonyabb szemléletmódot fogadjon el a veszélyek kezelésére.

Az ajánlott határérték alatti krónikus elektromágneses expozícióból származó kockázattal kapcsolatban a fő nehézséget a világos bizonyíték, vagyis a kockázat mibenlétének bármiféle megértésének hiánya jelenti. Bár a bizonyítékok súlya, amely az óvatossági irányelv alkalmazásának elindításához kell, kétségtelenül kisebb, mint ami az expozíciós ajánlások megalkotásához szükséges, a kockázatot azonosítani kell, és meg kell vizsgálni a körülményeket, melyek között az előfordulása valószínűsíthető.

Segíthetnek a lakossági aggodalmak megválaszolásánál más, az *elővigyázatossági megközelítésekhez (precautionary approaches)* nem kapcsolódó intézkedések, amelyek jellemzően új elektromos létesítmények indítványozásakor merülnek fel. Ezek magukba foglalhatják a közösségi hozzájárulást vagy a részvételt az olyan döntéshozataloknál, mint pl. elektromos vezetékek, villamos alállomások vagy rádiófrekvenciás sugárzók létesítése. Az érintettek bármilyen megoldást választhatnak, amit a helyzetükben és a körülményeik között célravezetőnek éreznek.

Bibliográfia

Ahlbom A. 1997. Residential epidemiological studies. In: Matthes R, Bernhardt JH, Repacholi MH, editors. Biological effects of static and ELF electric and magnetic fields. Oberschleissheim, Germany: ICNIRP Publication 4197. p 185-190.

Barnes F.S. 1992: Some Engineering Models for Interactions of Electric and Magnetic Fields, Bioelectromagnetics, Suppl.1. pp. 67-86.

Bernhardt J.H. 1979. The direct influence of electromagnetic fields on nerve and muscle cells of man within the frequency range of 1 Hz to 30 MHz. Radiat. Environ. Biophys. 16: 309-323.

EPRI. 1994. Residential transient magnetic held research: interim report. Project RP2966-07. Palo Alto, California: Electric Power Research Institute. Report TR-103470.

EU 1999: 1999/519/EC:Council recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999

Feychting M, 1996. Occupational exposure to electromagnetic fields and adult leukaemia: a review of the epidemiological evidence. Radiat Environ Biophys 35: 237-242.

Feychting M, Schulgen G., Olsen J.H., Albhom A. 1995: Magnetic Field and Childhood Cancer. A Pooled Analysis of Two Scandinavian Studies, European Journal of Cancer, Vol. 31A, No.12, pp. 2035-2039

Guttman JL. Zaffanella LE. 1996. Studies of residential transients, and wire configuration codes. Palo Alto: Electric Power Research Institute. TR-105984.

ICNIRP 1998: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz), Health Physics 74, 494-521.

ICNIRP. 1994. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys 66:100106.

IEGMP 2000: Mobile Phones and Health, NRPB, Didcot, UK.

Juutilainen J, Matilainen P., Saarikoski S., Laara E., Suonio S. 1993. Early pregnancy loss and exposure to 50 Hz magnetic fields. Bioelectromagnetics, 14, 229-236.

Juutilainen J, Hyvönen M, Vanhala P (1997): Transformer stations in buildings as a magnestic field source in epidemiological studies. A feasibility study. Proceedings of a Nordic meeting held in Trondheim, Norway in 1997 (TRATRO)

Kheifets L Ahdelmonem A. Afifi A, Buffler P, Zhang A. Matkin C. 1997. Occupational electric and magnetic field exposure and leukaemia: a meta-analysis. J Occup Environ Med 39:1074-1091.

Köteles György (2002): Sugáregészségtan. Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest

Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robinson LL, Kaune WT, Friedman DR. Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S, Tarone RE. 1997. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia children. N Engl J Med 337:1-7.

London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters JM. 1991. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukaemia. Am J Epidemiol 134:923-937.

NRC. 1996. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields, National Research Council, Washington: National Academy Press.

Polk CH, Postow E. 1996. Biological effects of electromagnetic fields, 2nd Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Repacholi M.H., Cardis E. 1997. Criteria for EMF health risk assessment. Radiat Prot Dosimetry 72:305-317.

Repacholi MH, Greenebaum B. 1999. Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs. Bioelectromagnetics 20:133-160.

Savitz, D.A., Wachtel, H., Barnes, F.A., John, E.M. & Tvrdik, J.G. 1988. Casecontrol study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. *American Journal of Epidemiology*, 128, 21-38.

Szabó D. L. 1990. Nem-ionizáló sugárzások által okozott betegségek. *In: Foglalkozási betegségek (szerk.: Tímár Miklós), OMIKK-OOIIK, Budapest, 300-307, 391.*

Szabó D. László, Bakos J. 1997. A nem-ionizáló sugárzások és egészségünk. Budapesti Közegészségügy 97/2., 165-169.

Szabó J., Jánossy G., Thuróczy G (2003): EMF Exposure survey in residences above transformer stations. 6th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA) 13-15 November 2003 Budapest, Hungary Abstract.

Tenforde T.S. 1991. Biological interactions of extremely-low-frequency electric and magnetic fields. Bioelectrochem. Bioenerg. 25:1-17.

Thuróczy Gy. 1996: Elektromágneses terek biológiai hatásai. II.rész, Magyar Távközlés 11, 21-2856.

UNEP/WHO/IRPA. 1987. Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields. WHO, Geneva.

Zaffanella, L.E. (1993): Survey of Residential Magnetic Field Sources. Final Report of EPRI TR-102759-V1, Research Project 3335-02, Vols. 1 and 2.

Melléklet

I. Elektromágneses terek és a közegészségügy

a WHO állásfoglalása az 50/60 Hz-es terekre vonatkozóan
(hptt://www.osski.hu)

Extrém alacsony frekvenciájú terek és a rák

(WHO Ténylap N° 2632001 október)

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 1996-ban elindította a Nemzetközi Elektromágneses Terek (EMF) Projektét, hogy ennek keretében foglalkozzon az EMF expozícióval kapcsolatos egészségi kérdésekkel. Az EMF Projekt áttekinti a kutatási eredményeket, és kockázatbecslést hajt végre a sztatikus (állandó) és extrém alacsony frekvenciájú (ELF) elektromos és mágneses terek expozíciójával kapcsolataban. A WHO 2002-3-ban tervezi az ELF expozícióból származó minden egészségkárosító hatás kiértékelésének lefolytatását.

Az elektromos energia használata a mindennapos élet része. Bárhol, ahol az elektromosságot távvezetékeken, elosztó vezetékeken vezetik, vagy a berendezésekben alkalmazzák, mind az elektromos, mind a mágneses tér megtalálható a vezetékek vagy berendezések közelében. Az alkalmazott frekvencia 50 vagy 60 Hz. Kérdésként merült fel, vajon ezek vagy más ELF terek rákkeltőek-e.

Az IARC, a WHO rákkutatásra specializált ügynöksége mostanában fejezte be az első lépést a WHO kockázatbecslési eljárásában: az ELF terek besorolását végezte el, a bizonyítékok erősségétől, illetve azok rákkeltő képességéről.

Ez a tény teszi aktuálissá a sztatikus és az ELF elektromos és mágneses terek egészségkárosító hatásairól szóló legújabb összefoglalók következtetéseit, amelyeket az IARC (2001 június), a Holland Egészségügyi Tanácsa (2001 május) és az angol NRPB szakértői Tanácsadó Csoportja (AGNIR, 2001 március) közöltek.

IARC értékelés

2001 júniusában az IARC egyik szakértői munkacsoportja áttekintette a sztatikus és ELF elektromos és mágneses terek rákkeltő hatására vonatkozó vizsgálatokat. Az emberre és az állatokra vonatkozó, illetve laboratóriumi bizonyítékokat súlyozva alkalmazó szabványos IARC besorolást alkalmazva, az ELF mágneses teret lehetséges humán rákkeltőként osztályozták a gyermekkori leukémia epidemiológiai vizsgálatai alapján. Nem besorolhatóként határoztak meg minden más felnőtt és gyerekkori rákra, illetve más expozíció-típusokra vonatkozó bizonyítékot, a nem megfelelő, illetve az ellentmondó tudományos információk miatt.

A „lehetséges emberi rákkeltő" besorolást olyan ágens megjelölésére használják, amire nézve korlátozott bizonyítékai vannak az emberben történő rákkeltést és kevesebb, mint elégséges a bizonyíték a laboratóriumi állatokban történő rákkeltést illetően. Ez a besorolás a legenyhébb a három kategória közül („emberi rákkeltő", „valószínű emberi rákkeltő" és „lehetséges emberi rákkeltő"), amelyet az IARC használ a lehetséges rákkeltők közzétett tudományos bizonyítékokon alapuló osztályozására *(lásd táblázat).*

Néhány jól ismert ágens Az IARC besorolása

Besorolás	Példák az ágensre
emberi rákkeltő (általában az emberben történő rákkeltés erős bizonyítékán alapul)	azbeszt mustárgáz dohány gamma sugárzás
valószínű emberi rákkeltő (általában az emberben történő rákkeltés erős bizonyítékán alapul)	dízelmotor kipufogó gáza naplámpák UV sugárzás formaldehid
lehetséges emberi rákkeltő (általában az emberben történő rákkeltés bizonyítékán alapul, amelyet hihetőnek tekintenek, de amelyre más magyarázat sem zárható ki)	kávé sztirén benzinmotor kipufogó gáza hegesztési füstök *ELF mágneses tér*

Okoznak-e az ELF terek rákot?

Az ELF terekről ismert, hogy elektromos tereket és áramokat indukálnak a szövetekben, és így lépnek velük kölcsönhatásba. Ez az egyetlen megalapozott hatásmechanizmusuk. A környezetünkben általában található ELF terek által indukált elektromos áramok normális esetben sokkal alacsonyabbak, mint a testben természetesen előforduló legerősebb elektromos áramok, például az, amelyik a szívverést szabályozza.

1979 óta, amikor epidemiológiai vizsgálatok először okoztak aggodalmat a távvezetékek frekvenciájával rendelkező mágneses tér expozíció és a gyermekkori rák kapcsán, nagyszámú vizsgálatot végeztek annak meghatározására, hogy a mért ELF expozíció képes-e befolyásolni a rák fejlődését, különösen a leukémiáét a gyerekekben.

Nincs egyértelmű bizonyíték arra, hogy a lakókörnyezetünkben elszenvedett ELF tér expozíció közvetlenül sérülést okoz a biológiai molekulákban, beleértve a DNS-t. Mivel valószínűtlennek látszik, hogy az ELF terek rák keletkezését indíthatnák el, nagyszámú vizsgálatot folytattak annak meghatározására, hogy vajon az ELF expozíció képes-e egyedül befolyásolni a rák kifejlődését, vagy csak más ágensekkel együtt. Az eddigi állatkísérletek eredményei azt mutatják, hogy az ELF terek nem indítják, illetve nem befolyásolják a rák kialakulását.

Emellett az epidemiológiai vizsgálatok két mostani összegzett analízise betekintést nyújt abba az epidemiológiai bizonyítékba, amely fontos szerepet játszott az IARC kiértékelésben. Ezek a tanulmányok azt sugallják, hogy az átlagosan 0,3–0,4 μT-át meghaladó mágneses térrel exponált lakosságban kétszer több gyerek kaphat leukémiát, mint az alacsonyabb expozíciójú lakosságban. Az adatbázisok nagy száma ellenére mégis maradt némi bizonytalanság, hogy vajon a mágneses tér, vagy netán más faktorok tehetők felelőssé a leukémia megnövekedett gyakoriságáért.

A gyermekkori leukémia ritka betegség, amelyet 100 000 tizennégy évnél fiatalabb gyermek közül négynél diagnosztizálnak évente. Az átlagosan 0,3–0,4 μT-át meghaladó mágneses tér expozíció a lakásokban szintén ritka. Az epidemiológiai vizsgálatok eredményeiből az állapítható meg, hogy a 240 V-os energiaszolgáltatást használó lakosságnak keve-

sebb, mint 1 %-a exponált ezeken a szinteken. A 120 V-ot használó országokban ez az érték magasabb is lehet.

Az IARC áttekintése felveti a kérdést: vajon lehetséges-e, hogy az ELF-EMF rák kockázatot jelent? A következő lépés az eljárásban, meghatározni és kiértékelni a szokásos expozíciók következtében a rák kialakulásának valószínűségét a lakosságnál, összevetve a más (nem rák) betegségekre vonatkozó bizonyítékokkal. A kockázatbecslés ezen részét a WHO a következő 18 hónapban fogja befejezni.

Nemzetközi ajánlások

Az ICNIRP a Nemzetközi Nem-ionizáló Sugárvédelmi Bizottság, amely egy nem kormányzati szervezet (NGO), hivatalos kapcsolatban a WHO-val, a WHO Nemzetközi EMF Projektjének partnereként, nemzetközi ajánlásokat dolgozott ki minden EMF expozíciós határértékre. Míg az az EMF expozícióra vonatkozó ICNIRP-ajánlások az egész tudomány átfogó áttekintésén alapulnak, a határértékek azt a célt szolgálják, hogy megóvják az egészséget a rövididejű akut expozíciókhoz kapcsolódó hatásoktól. Mindez azért van így, mert az ICNIRP a tudományos információkat az ELF potenciális rákkeltő képességéről nem tartja alkalmasnak az expozíció mennyiségi korlátainak meghatározására.

Néhány nemzeti reagálás

A lehetséges rákkeltőkre vonatkozó szabályozási politika országonként és különböző ágensenként változik. Egy ágensnek az IARC által elvégzett kiértékelése és osztályba sorolása azonban nem indít el automatikusan egy nemzeti szabályozási válasz reakciót. A benzines kipufogógázok és a kávé is lehetséges emberi rákkeltőként lett besorolva, és a kormányok jelentős válaszlépéseket is tettek a benzinmotor kipufogógázainak csökkentésére, mégsem tettek semmilyen erőfeszítést a kávéfogyasztás korlátozására.

Válaszul a növekvő, EMF expozíciós egészségi hatásokra vonatkozó lakossági aggodalmakra, néhány ország az IARC-é előtt elvégezte a maga

saját tudományos kiértékelését. Már 1998-ban egy munkacsoport vizsgálta a kérdést az USA Nemzeti Környezetegészségi Tudományok Intézete (NIEHS) megbízásából, ahol az ELF mágneses teret, mint lehetséges emberi rákkeltőt osztályozta. Az USA kormányhivatala „passzív szabályozási akciót" javasolt, amely folyamatos tájékoztatást és oktatást jelent a lakosság részére és felszólítja az energiaszolgáltatókat az expozíció önkéntes csökkentésére, ahol csak lehetséges.

Az Egyesült Királyságban egy Nem-ionizáló Sugárzás Tanácsadó Testület nemrégen átadta jelentését a Nemzeti Sugárvédelmi Testületnek (NRPB) a hálózati frekvenciás EMF és a rákkockázat témájában (AGNIR, 2001). Ebben azt a következtetést vonták le, hogy bár a bizonyítékok jelenleg nem elég erősek ahhoz, hogy igazolják a következtetést, miszerint az EMF terek leukémiát okoznak gyermekekben, annak a lehetősége, hogy az intenzív és az elhúzódó mágneses tér expozíció növelheti a leukémia kockázatát gyermekeknél még mindig fennáll. Ezen felül kutatási javaslatokat is kiadtak. Mellesleg, a holland kormány egyik fő tudományos tanácsadó testülete, a Holland Egészségi Tanács is hasonló következtetésekre jutott.

A WHO válasza

Annak ellenére, hogy az ELF mágneses terek lehetséges emberi rákkeltőként lettek besorolva, továbbra is fennáll a lehetőség, hogy más a magyarázata az ELF mágneses tér expozíció és a gyermekkori leukémia között tapasztalt összefüggéseknek. Az epidemiológiai vizsgálatokban különösen a kiválasztási hibák és a más tértípusok expozíciójának kérdése szigorú vizsgálatot érdemel és valószínűleg új vizsgálatokat tesz majd szükségessé. A WHO tehát egy követéses, koncentrált kutatási programot javasol a pontosabb információk szolgáltatásához. A vizsgálatok közül néhány jelenleg is folyik, az eredmények közzététele a következő 2-3 évben várható.

A WHO EMF Projektje segíteni szeretné a nemzeti hatóságokat, mérlegelni az elektromos technológia hasznát a lehetséges egészségi kockázattal szemben és segíteni őket annak eldöntésében, hogy milyen védőintézkedések lehetnek szükségesek. Különösen bonyolult az ELF terekre vé-

dőintézkedéseket javasolni, mivel nem ismerjük, milyen tér-karakterisztika lehet felelős a gyermekkori leukémia kialakulásáért, amelyet tehát csökkenteni kellene, illetve, hogy az ELF mágneses terek felelősek-e ezért a hatásért. Az egyik megközelítés olyan önkéntes eljárások bevezetése, amelyek az ELF terek expozíciójának költség-hatékony csökkentését célozzák. Ezt tárgyalta a WHO 2000. márciusban kiadott Háttéranyaga (www.who.int/peh-emf).

Az alábbiakban néhány megelőző intézkedést vázolunk fel:

- **Kormány és ipar**: Ezeknek a szereplőknek ismerniük kell a legújabb tudományos eredményeket és a lakosságot el kell lássák kiegyensúlyozott, világos és átfogó tájékoztatással az EMF lehetséges kockázatairól csakúgy, mint javaslatokkal az expozíció csökkentésének biztonságos és olcsó módjairól. Támogatniuk kell a kutatást, hogy az olyan alaposabb információkhoz vezessen, amelyekből az egészségi kockázat meghatározható.
- **Lakosság**: A lakosság tagjai választhatnak, hogy bizonyos elektromos készülékek használatának minimalizálásával, vagy a viszonylag nagy tereket előállítani képes forrásoktól való távolság növelésével csökkentik EMF expozíciójukat.
- **Megbeszélés a helyi hatóságokkal, iparral és a lakossággal, amikor új távvezetéket telepítenek**: A távvezetékeket nyilvánvalóan azért kell telepíteni, hogy a fogyasztóknak energiát szolgáltasson. A telepítési döntések gyakran megkövetelik, hogy figyelembe vegyék az esztétikumot és a lakossági érzékenységet. Emellett, a telepítési döntéseknél az embereket érő expozició csökkentésének módjait is meg kell fontolni.
- **Hatékony rendszer szükséges az egészségi tájékoztatásra és hírközlésre** a tudósok, a kormány, az ipar és a lakosság közt, hogy segítse az ELF terek expozíciójával foglalkozó programok általános ismeretének növelését, és csökkentsen minden bizalmatlanságot és félelmet.

További olvasnivalók

AGNIR (2001) Advisory Group on Non-Ionising Radiation, Power Frequency Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer. National Radiological Protection Board (UK) 2001. See http://www.nprb.org.uk/

Health Council of the Netherlands (2001). Electromagnetic fields: Annual Update 2001. See http://www.gr.nl/engels/welcome/

ICNIRP (1998) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74(4), 494-522. See http://www.ICNIRP.de/

Portier CJ and Wolfe MS (eds.), National Institute of Environmental Health Sciences of the National Institute of Health. Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIEHS Working Group Report, Research Triangle Park, NC, USA, NIH Publication No. 98-3981, 1998. See http://www.niehs.nih.gov/

Repacholi M and Greenebaum B (eds.), Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs. Bioelectromagnetics 1999; 20: 133-160.

WHO Backgrounder on Cautionary Policies, March 2000
www.who.int/peh-emf

II. Óvatossági irányelvek (WHO Háttéranyag, 2000 március)

A mesterséges elektromágneses terek (EMF) lehetséges egészségügyi hatása, amely már az 1800-as évek vége óta a tudományos érdeklődés témája volt, az utóbbi 40 évben különös figyelmet kapott. Az EMF terek gyakori forrásai az elektromos vezetékek, a háztartási elektromos hálózatok, készülékek és motorral működtetett berendezések, számítógép képernyők, távközlési és műsorszóró létesítmények, mobiltelefonok és azok bázisállomásai.

A lakosság EMF expozícióját különféle önkéntes és hatósági határérték-ajánlások szabályozzák. Ezek közül a legfontosabbak az ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) által megfogalmazott nemzetközi irányelvek, számos nemzeti biztonsági szabvánnyal együtt. Az ajánlásokat úgy tervezték, hogy kivédjenek minden rövid és hosszú távú expozíció által okozott azonosított veszélyt, nagy biztonsági sávot beépítve a határértékekbe. A tényleges expozíciószintek szinte mindig jóval az ajánlott határértékek alatt vannak.

Bizonytalanságok az EMF körül

Az EMF lehetséges egészségügyi kockázatának megítélése számos bizonytalanságot rejt. Különösen azért, mert sok epidemiológiai tanulmány az EMF expozíció és az emberi megbetegedések közti gyenge összefüggésről számol be. Ezen tanulmányok számos megbetegedést és expozíciós körülményt ölelnek fel. Ugyanakkor, a bizonyítékok legnagyobb része a leukémia kockázatának lehetséges növekedését írja le olyan gyerekeknél, akik kapcsolatba hozhatók az otthoni hálózati áram (50/60 Hz) által keltett elektromos és mágneses tér expozícióval. Más tudományos bizonyítékok, beleértve a nagy számú állatkísérletes tanulmányokat is, nem támasztják alá ezt az összefüggést. Az epidemiológiai tanulmányokban közöltek egy része is megbízhatatlan eredménynek tekinthető, beleértve például a nem megfelelő expozíció-becslést.

A szakértői bizottságok következetesen túl gyengének találták a bizonyítékok meggyőző erejét. 1997-ben az Egyesült Államok Nemzeti Kutató Tanácsa (US National Research Council) azt a következtetést vonta le, hogy „a jelenlegi bizonyítékok nem mutatnak arra, hogy az otthoni hálózati feszültség által keltett elektromos és mágneses tér expozíció az emberi egészséget veszélyeztetné". Ehhez hasonlóan, az EMF expozíció 1998-as irányelveiben az ICNIRP megállapította, hogy „az EMF expozíciónak a rákra vonatkozó epidemiológiai kutatási eredményei nem eléggé meggyőzőek ahhoz, hogy az expozíciós irányelvekhez tudományos alapot szolgáltassanak." Egyik főbb bizottság sem jutott arra a következtetésre, hogy az alacsony szintű terek valóban veszélyt jelentenének. Az azonban világos, hogy az üggyel kapcsolatban, a számottevő tudományos bizonytalanság mellett nagymértékű lakossági aggodalom is tapasztalható.

Elővigyázatossági irányelvek

Szerte a világban — kormányzati szinten és azon kívül is — fokozott elmozdulás észlelhető az egészségi kockázat kezelés tekintetében a tudományos bizonytalanság miatt az „elővigyázatos megközelítés" elfogadásának irányába. A WHO, mint nemzetközi egészségügyi szervezet, általában nem javasolja a nemzeti hatóságoknak, hogy megalapozott ismereteken túlmenő politikai irányelveket alakítsanak ki. Mégis, az 1999-es „III. Környezet és egészségügyi miniszteriális konferencián" (Third Ministerial Conference on Environment and Health), Londonban aláírásra került nyilatkozat arra sarkallta a WHO-t, hogy vegye számításba az „Elővigyázatossági elv szigorú alkalmazásának szükségességét a veszélyek felbecsülésekor, és hogy a veszélyek megközelítésére egy megelőzőbb, hatékonyabb szemléletmódot vegyen át."

A tudományos bizonytalanság ellenére számos, különböző elővigyázatosságot támogató politikát alakítottak ki a lakossági, foglalkoztatási és környezeti egészséggel kapcsolatos kérdésekre vonatkozó aggodalmak megválaszolására. Ezek a következők:

- **Elővigyázatossági elv** (Precautionary Principle)
- **Óvatos elkerülés** (Prudent Avoidance)
- **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable: olyan alacsony, amennyire ésszerűen elérhető)

Az elővigyázatossági elv olyan kockázatkezelési irányelv, amelyet nagyfokú tudományos bizonytalanság esetén alkalmaznak, válaszolva az esetlegesen súlyos kockázat ellen teendő intézkedések szükségességére, a tudományos kutatások eredményének kivárása nélkül.

Az Európai Unió országai számára a Római Egyezmény kiköti, hogy „a környezetre vonatkozó Közösségi irányelvnek (...) az elővigyázatossági elven kell alapulnia". Adekvát példa az elővigyázatossági elv elfogadására az Európa Bizottság azon döntése, amely betiltja az Egyesült Királyságból származó marhahús importját, azzal a szándékkal, hogy csökkentsék a szarvasmarhák szivacsos agysorvadásos (BSE) megbetegedésének behurcolási veszélyét. Az Európa Bíróság ítélete alapján ez a döntés indokolt volt. Tekintettel a kockázat súlyosságára, és a helyzet sürgősségére és figyelembe véve a döntés tárgyát, a Bizottság nem járt el kifejezetten helytelenül, amikor a részletesebb tudományos információ kivárásának igénye nélkül ideiglenesen elfogadta ezt a döntést.

Ahol az emberi egészségre nézve a veszély létezésével vagy mértékével kapcsolatban bizonytalanság áll fenn, a Bizottság megelőző intézkedéseket tehet anélkül, hogy megvárná, míg a kockázatok valódisága, vagy súlyossága átláthatóvá válik.

2000. február 2.-án az Európa Bizottság elfogadott egy fontos közleményt az Elővigyázatossági elvről, *ajánlásokat adva annak alkalmazásához.*

A közlemény szerint az elővigyázatossági elven alapuló ***védelmi intézkedéseket****, megoldásokat* ***ajánlatos****:*

- *a védelem választott szintjére szabni*
- *megkülönböztetés nélkül alkalmazni, azaz hasonló eseteket hasonló módon kell kezelni,*
- *következetesen a már megtett intézkedésekhez igazítani, azaz hatáskörében és természetében összevethetőnek kell lennie a már megtett*

azon intézkedésekkel, amelyeket hasonló területeken az összes elérhető tudományos adat birtokában hajtottak végre

- *a cselekvést (vagy nem cselekvést) lehetőleg előny-hátrány elemzés szempontokra alapozni, gazdasági költség/haszon elemzés bevonásával, ahol lehetséges és ésszerű*
- *természetében ideiglenesnek tekinteni és az új tudományos adatok fényében felülvizsgálatnak vetni alá*
- *képessé tenni arra, hogy az átfogóbb kockázatbecsléshez szükséges tudományos bizonyítékok megtalálásának fontosságot tulajdonítsanak*

Eszerint a megfogalmazás szerint az elővigyázatossági elv „kockázatorientált", amennyiben kockázatkutatási kiértékelést követel meg, beleértve a költség-haszon megfontolásokat is. Egyértelmű, hogy a lehetséges súlyos egészségügyi veszélyek elleni ideiglenes válaszlépések megtételére szánták, amíg a megfelelő adatok a tudomány által jobban megalapozott válaszokhoz elérhetővé válnak.

Az **óvatos elkerülést** (prudent avoidance) eleinte a hálózati frekvenciás EMF kockázatkezelési stratégiájaként fejlesztette ki Morgan, Florig és Nair a Carnegie Mellon Egyetemen. Az 1989-es, US Office of Technology Assesment számára írt jelentésükben a szerzők így határozták meg az **óvatos elkerülést**: „lépéseket tenni azirányba, hogy az embereket távol tartsák a EM terektől a berendezések áttelepítésével, és az elektromos rendszerek és készülékek áttervezésével". Az óvatosság (prudence) meghatározása: „olyan elkerülő intézkedések megtétele, melyek mérsékelt költségekkel járnak".

1989 óta az óvatos elkerülés fokozatosan úgy értelmeződött, mint az EMF expozíció csökkentésére irányuló egyszerű, könnyen megvalósítható, alacsony költségű intézkedések végrehajtása a kimutatható kockázat hiányában. Az „egyszerű", „könnyen megvalósítható" és „alacsony költségű" fogalmak pontos értelmezése azonban még várat magára. A kormányhivatalok ezt az irányelvet általában csak új berendezések esetén alkalmazzák, ahol a tervezés kismértékű átalakításával csökkenthető a lakossági expozíció szintje. Nem alkalmazták még olyan esetben, amely egy már működő létesítmény átalakítását igényelte volna, ami általában nagyon költséges lenne.

Ebben az értelemben az óvatos elkerülés az expozíció csökkentése céljából megteendő alacsony költségű intézkedéseket ír elő a veszély csökkenésére irányuló bárminemű tudományosan indokolható kilátás hiányában. Az ilyen intézkedések általában inkább önkéntesen végrehajtandó javaslatok kiadásában körvonalazódnak, mintsem rögzített határértékek vagy szabályzók meghatározásában.

Az óvatos elkerülést, nem feltétlenül így értelmezve, irányelvként elfogadták az elektromos szektor egyes részeiben Ausztráliában, Svédországban és néhány US államban (California, Colorado, Hawaii, New York, Ohio, Texas és Wisconsin). 1997-ben Ausztrália, tekintettel az új távvezetékekkel kapcsolatos eljárásokra, elfogadta az óvatos elkerülés elvét, amelyet a kormány „túlzott nehézségek nélkül" megvalósítandó „általános útmutatás"-ként írt le. Az „alacsony költségű" eljárásokhoz tartozik az *elektromos vezetékek iskoláktól távoli útvezetése*, vagy *az elektromos vezetők fázisba hozása*.

Az Egyesült Államokban semelyik kormányzati szerv sem ajánlotta kifejezetten az óvatos elkerülés elvét elektromos vezetékek esetén. Mégis, az US Kongresszusnak nemrégiben tett javaslataiban, a National Institute for Environmental Health Sciences (NIEHS) már közel járt hozzá, amikor azt javasolta: „az elektromos ipar folytassa azt a gyakorlatot, hogy úgy helyezik el az elektromos vezetékeket, hogy csökkenjen az expozíció, és folytassák a veszélyek keltése nélküli elosztó- és távvezetékek körüli mágneses terek létrejöttét csökkentő módszerek kutatását. Támogatják az olyan technológiákat is, amelyek csökkentik a szomszédos elosztó-vezetékekből származó expozíciókat, feltéve, hogyha azok nem fokozzák más kockázatok létrejöttét, mint pl. a véletlenszerű áramütés és a tűz".

Összehasonlításképpen, Kenneth Olden az NIEHS igazgatója, az NIEHS által a Kongresszusnak írt kísérő levelben ehelyett „passzív szabályozó intézkedést" ajánlott, miszerint „oktatni mind a nyilvánosságot, mind a szakemberek közösségét az expozíció csökkentésének lehetséges eszközeiről". Ez az ajánlás kissé eltér az óvatos elkerülés elvétől annyiban, hogy oktatási megoldásokat javasol ahelyett, hogy tényleges intézkedéseket tenne az expozíció csökkentésére.

Az óvatos elkerülés elvet a US nem emelte be a távközlési és műsorszóró létesítmények szabályozásába hivatalosan. Mégis, a kormányügy-

nökségek már tettek olyan javaslatokat a távközlési iparnak, melyek az óvatos elkerülés bizonyos formáinak tekinthetők. 1999-ben az U.S. Food and Drug Administration (FDA) sürgette a mobiltelefon-ipart, hogy tervezzenek olyan telefonokat, amelyek a felhasználók rádiófrekvenciás (RF) terekből származó expozícióját a készülékek működtetéséhez szükséges minimális szintekre csökkentik.

Óvatos elkerüléskor, ahogy számos országban alkalmazzák, az óvatosság a kiadásokra, és nem a kockázatkezelésre vonatkozik. Vagyis nem foglalja magában az expozíciós határok tetszőlegesen alacsony szintű megszabását és azok költségtől független elérésének követelményét, hanem inkább szerényebb költségekkel járó intézkedéseket fogad el a lakossági EMF expozíció csökkentésére. Nem követelmény a potenciális egészségi haszon megállapítása.

ALARA az „As Low As Reasonably Achievable" szavak kezdőbetűiből képzett mozaikszó. Ez az ismert kockázatok minimalizálására használt irányelv az expozíciót olyan alacsony szinten tartja, amennyire ésszerűen lehetséges, figyelembe véve a költségeket, a technológiát, a közegészségügyi hasznot és a biztonságot, és más szociális-gazdasági megfontolásokat. Az ALARA-t ma főképp az ionizáló sugárzás elleni védelemmel összefüggésben használják, ahol a határértékek nem küszöbérték alapján lettek megszabva, hanem inkább az *„elfogadható kockázat" elve* alapján. Ilyen körülmények között ésszerű a feltehetően az ajánlott határok alatti szinteken is létező veszély minimalizálása, azon az alapon, hogy az egyének között az elfogadható kockázat tág határok között változhat.

Az ALARA-t nem használták eddig irányelvként az EMF expozícióval kapcsolatban. Valójában nem lenne megfelelő stratégia az EMF esetén az alacsony expozíciós szinteknél várható kockázat hiányában, és az expozíció mindenütt jelenlevősége miatt, sem az elektromos vezetékek, sem a rádiófrekvenciás terek esetén.

Elővigyázatossági elv az EMF-el kapcsolatban

Az óvatos elkerülés (prudent avoidance) és más elővigyázatossági irányelvek, amelyek figyelembe veszik az EMF expozíciót, nagy népszerűségnek örvendenek az emberek körében, mivel úgy érzik, hogy ezek extra védelmet nyújtanak a tudományosan bizonyítatlan veszélyekkel szemben. Mégis, igen problémás az ilyen megközelítések használata. Az ajánlott határ-érték alatti krónikus EMF expozícióból származó kockázattal kapcsolatban a fő nehézséget a világos bizonyíték hiánya, vagyis a kockázat — amenynyiben egyáltalán létezik — mibenlétének megértése jelenti. Bár a bizonyítékok súlya, amely az óvatossági irányelv alkalmazásának elindításához kell, kétségtelenül kisebb, mint ami az expozíciós ajánlások megalkotásához szükséges, a kockázatot azonosítani kell és némileg meg kell érteni a körülményeket, melyek között előfordulása valószínűsíthető. Egy másik nehézség az EMF expozíció nagyon változó szinteken és széles frekvenciatartományban van jelen életünkben. Emiatt nehéz következetes és méltányos óvatossági irányelveket alkotni. A tipikus városi környezet például a rádiófrekvenciás adók sokaságát tartalmazza, az alacsony teljesítményű távközlési adóktól a nagyon magas teljesítményű műsorszóró adóállomásokig. Nehéz elképzelni olyan következetes és igazságos óvatossági irányelvet, amely minimalizálná a mobiltelefon bázisállomásaiból származó EMF expozíciót, miközben jóval magasabb teljesítményű források is találhatóak ugyanazon nagyvárosi területen. A mobiltelefontornyok miatti óvatossági irányelv alkalmazását valójában tipikusan egyedi alapon valósították meg, míg más (jóval erősebb) radiofrekvenciás (RF) energiaforrásokat nem vettek tudomásul a környezetükben.

Az ajánlott határértékek bevonása

A fenti megfontolások azt sugallják, hogy az EMF óvatossági irányelvét csak nagy gondossággal és körültekintéssel szabad elfogadni. Az ilyen irányelvekhez kapcsolódó követelmények, mint azt az Európa Bizottság körvonalazta, úgy tűnik, nem teljesülnek sem a hálózati, sem a rádiófrekvenciás EMF esetén; mégis, más idevonatkozó irányelvek, mint pl. az **óvatos elkerülés** elve, indokolható.

A fő követelmény az, hogy ilyen irányelveket csak azzal a feltétellel fogadjanak el, hogy a kockázatok tudományos becslését, és a tudomá-

nyosan megalapozott expozíciós határértékeket az önkényes óvatossági megközelítésekkel nem aknázzák alá. Ez például akkor következhet be, ha a határértéket olyan szintre csökkentik, ami semmilyen kapcsolatban sincs a létező kockázattal, és ha a határérték nem megfelelő, önkényes szabályozása nincs tekintettel a tudományos bizonytalanság mértékére.

Óvatossági irányelveket (cautionary policies) lehet bevezetni a tudományosan megalapozott standardok aláásása nélkül is. 1999-ben az újzélandi kormány kibocsátotta RF standardját, ami az 1998-as ICNIRP ajánlást követte. Az Egészségügyi és Környezeti Minisztérium úgy ítélte meg a szabvány alapkorlátait és a referenciaszinteket, hogy azok „megfelelő védelmet nyújtanak". Ugyanakkor, megjegyezte a következőt: ... „amennyire lehetséges minimalizálni kell a szolgáltatói célok elérése, vagy a működési követelmények megvalósulása céljából szükségtelen, mellékes rádiófrekvenciás expozíciót, feltéve, hogy szerény kiadásokkal, könnyen elérhető". Annak hangsúlyozása miatt, hogy az expozíció csökkentése „szerény költséggel" történjen, a várható egészségügyi és költség-haszon elemzés bizonyítása nélkül, egyfajta **óvatos elkerülésként** (prudent avoidance) jellemezhető ez az irányelv, nem pedig **elővigyázatossági elvként** (precautionary principle), ahogyan azt az Európa Bizottság körvonalazta.

Segíthetnek a lakossági aggodalmak megválaszolásánál más, az **elővigyázatossági megközelítésekhez** (precautionary approaches) nem kapcsolódó intézkedések, amelyek jellemzően új elektromos létesítmények indítványozásakor merülnek fel. Ezek magukban foglalhatják a közösségi hozzájárulást, vagy a részvételt az olyan döntéshozataloknál, mint pl. elektromos vezetékek, villamos alállomások vagy rádiófrekvenciás sugárzók létesítése. Továbbá az egyének bármilyen megoldást választhatnak, amit a helyzetükben és a körülményeik között célravezetőnek éreznek. Ilyen lehet az ágy melletti elektromos készülék áthelyezése, vagy a gyermek ágyának áthelyezése a hálószoba alacsonyabb mágneses terű részébe. Az elektromos melegítő takarók kikapcsolása ágyba fekvés előtt szintén egy lehetőség lehet. Hosszas mobiltelefon beszélgetéseket folytató személyek fülhallgatómikrofon készletet (headset) (szabad kezes készletet) használhatnak, és ezáltal távol tarthatják a mobiltelefonjukat a testüktől. Ilyen megoldásokat egészségügyi alapon nem ajánlhatnának a nemzeti hatóságok, egyénileg azonban, a saját veszélyérzettől függően, mégis megfelelő lehet.

Budapest
2004