11. Alacsonyfrekvenciás elektromos- és mágneses terek vizsgálata

A MÉRÉS CÉLJA:

Elektromos berendezések keltette elektromos- és mágneses terek vizsgálata, a sugár-egészségügyi jellemzők megismerése. Alacsonyfrekvenciás elektromágneses tér elektromos térerősségének és mágneses indukciójának mérése, összehasonlítás a határértékekkel.

ELMÉLETI ISMERETEK

11.1. Általános ismeretek

A környezetünkben működő elektromos berendezések, távközlési rendszerek által keltett, **0-300 GHz** frekvenciájú elektromos, mágneses és **elektromágneses (EM) terek** illetve sugárzások biológiai hatásainak kutatása nagy figyelmet kapott az utóbbi időben.

11.1. A kommunkációban használatos elektromágneses tartományok.

Hullámhossz tartomány	Alkalmazás	λ	ν
Hosszú hullám (LW)	Régi adók	2 km	150 kHz
Középhullám (MW)	Kossuth adó	550 m	545 kHz
Rövid hullám (SW)	Szabad Európa	25 m	12 MHz
Ultrarövid hullám (USW)	Sláger rádió	3 m	100 MHz
Deciméteres hullám (DM)	Mobil telefon	3,3 dm	900 MHz
Deciméteres hullám (DM)	Mobil telefon	1,66 dm	1,8 GHz
Centiméteres hullám (CW)	Mikrohullámú sütő	12,25 cm	2,45 GHz
Centiméteres hullám (CW)	Műholdas műsor	3 cm	10 GHz
Távoli infravörös tartomány (FIR)	MASER	100 μm	300 GHz
Közepes infravörös tartomány	THz-es lézer	30 μm	1 THz

Amit biztosan tudunk, hogy a **váltakozó EM terek** és sugárzások **áramot indukálnak a testben**, illetve **polarizálhatják a molekulákat**, így lépnek kölcsönhatásba a szervezettel. Ionizációs hatásról nem beszélhetünk, mivel a mikrohullámú tartományban sem éri el az energiakvantum (egy foton) energiája még a termikus energiaszintet sem.

Külön az **elektromos és mágneses mezőről** (térről), általában az **alacsonyfrekvenciás (< 150 kHz) esetben beszélünk**, magasabb frekvenciák esetén a kettő nem szétválasztható, mivel az elektromos mezőt töltések illetve változó mágneses mező, a mágneseses mezőt töltésáramlás (elektromos áram) és a változó elektromos mező keltheti. Innen ered az elektromágneses mező, illetve az EM sugárzás elnevezés.

A **rádiófrekvenciás** (10-50 MHz), nagyteljesítményű elektromágneses sugárzások (indukált áramok) a test különböző mélységében mérhető felmelegedését okoznak, ezt régóta alkalmazzák a gyógyászatban is. A kisteljesítményű, **nem termális**, vagy **atermális**, vagyis az emberi szervezet hőmérséklet-kompenzáló rendszere (termoreguláció) által kivédett hatású elektromágneses terek biológiai hatásairól még kevesebbet tudunk.

A biológiai hatásokra vonatkozó kutatásokat az **Egészségügyi Világszervezet (WHO)** fogja össze, ezen belül az **IARC szervezete** vizsgálja az esetleges rákkeltő hatásokat. Az IARC állatkísérletei alapján eddig nincsenek elégséges bizonyítékok a rákkeltő hatásra (a rádiófrekvenciás EM sugárzás, pl. mobil-bázisállomások esetén sem), ahogy az emberben történő rákkeltésre sem. Egyedül az extrém alacsony frekvenciájú (angol rövidítése: ELF, pl. hálózati 50 Hz) mágneses tér átlagos értékét meghaladó expozíció esetén tapasztaltak gyermekkori leukémiás megbetegedéseket kétszer nagyobb gyakorisággal. Ennek alapján ELF elektromos és mágneses terek esetében a mágneses teret a **„lehetséges emberi rákkeltő" kategóriába sorolták**.

[Megjegyzés: Az IARC a tudományos bizonyítékokon alapuló osztályzásában **ez a kategória a legenyhébb**, ide sorolják többek között a kávét, a benzinmotorok kipufogógázát is; „valószínű emberi rákkeltő" besorolású például a formaldehid, az UV sugárzás, és „emberi rákkeltő" kategóriába például a dohányzást sorolták. A WHO alapelveket tesz közzé, kockázatbecsléseket végez, illetve különböző határértékekre tesz ajánlást, amelyek alkalmazásáról az egyes országok döntenek. Magyarországon a **63/2004 ESZCSM rendelet** tartalmazza a 0 Hz-300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeit.]

11.2.Dozimetriai fogalmak, határértékek:

Az elektromos és mágneses terek illetve sugárzások hatásainak vizsgálatánál az elektromosságtanban is használt szokásos mennyiségek és az elnyelt dózis jellemzésére a **fajlagosan elnyelt teljesítmény**, az ún. SAR (Specific Absorption Rate) használatos. A **fontosabb mennyiségek**:

- *Elektromos térerősség (E)*:Az elektromos mező jellemző mennyisége, (vektor), amely megadja egy pontszerű 1 C nagyságú töltésre ható erőt. Mértékegysége a V/m (volt per méter). 1 V/m a térerősség két egymástól egy méterre elhelyezett, nagy kiterjedésű fémlemez között, ha a két lemezre 1 V feszültséget kapcsolunk.
- *Mágneses térerősség (H), mágneses indukció (B)*:A mágneses mezőt jellemző vektormennyiségek: a mágneses térerősség egysége az A/m (amper per méter) illetve ezzel egyenértékű jellemzést nyújt a mágneses indukció T (tesla) egységben. Egy vékony vezetéktől 1 m távolságra körülbelül 200 nT (= 0,2 mT) nagyságú a mágneses indukció nagysága, ha a vezetékben 1 A erősségű áram folyik.
- *Teljesítménysűrűség (S)*: az egységnyi felületre vonatkozó, a felületre merőlegesen beeső sugárzott teljesítményt adja meg W/m2 (watt per négyzetméter) egységben.
- *Fajlagos energiaelnyelés (SA, Specific Absorption)*: egységnyi tömegű élő szövet által elnyelt energia. Mértékegysége J/kg (joule per kilogramm).
- *Fajlagosan elnyelt teljesítmény (SAR)*: az egész testre vagy a test egy részére átlagolva az egységnyi tömegű testszövet által elnyelt teljesítményt adja meg. Mértékegysége: W/kg (watt per kilogramm). Az egész test SAR mellett a helyi SAR értékekre is szükség van, mivel a test különböző részeire más-más határértékek vonatkoznak, más az egyes szövetek érzékenysége.

11.2. táblázat. Alapkorlátok az elektromos, mágneses és elektromágneses terekre

Frekvencia tartomány	Mágneses indukció (mT)	Áramsűrűség (mA/m2) (effektív érték)	Egésztest átlagos SAR (W/kg)	Helyi SAR (fej és törzs) (W/kg)	Helyi SAR (végtagok) (W/kg)	Teljesítmény sűrűség *S* (W/m2)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
< 1 Hz	-	8	-	-	-	-
1- 4 Hz	-	8/*f*	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000 Hz-100 kHz	-	*f*/500	-	-	-	-
100kHz-10 MHz	-	*f*/500	0,08	2	4	-
10 MHz-10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 GHz 300 GHz	-	-	-	-	-	10

Az említett rendeletben **alapkorlátokat** (olyan korlátozások, amelyek közvetlenül a megállapított egészségi hatásokon alapulnak, 11.2. táblázat) és **vonatkoztatási határértékeket** (az alapkorlátokból származtatott határértékek, amelyek valószínűsítik az alapkorlátokban megadatott értékek túllépését, 11.3. táblázat) adnak meg. Az adatok kizárólag lakossági határértékek, tehát munkahelyi expozíciókra nem vonatkoznak.

11.3. táblázat. Vonatkoztatási határértékek az elektromos, mágneses és elektromágneses terekre (effektív értékek)

Frekvencia tartomány	Elektromos térerősség (V/m)	Mágneses térerősség (A/m)	Mágneses indukció (μT)	Ekvivalens síkhullám teljesítménysűrűség *Seq* (W/m2)
0-1 Hz	-	3, 2 × 104	4 × 104	-
1-8 Hz	10000	3, 2 × 104/f	4 × 104/f	-
8-25 Hz	10000	4000/*f*	5000/*f*	-
0,025-0,8 kHz	250/*f*	4/*f*	5/*f*	-
0,8-3 kHz	250/*f*	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	0,73/*f*	0, 92/*f*	-
1-10 MHz	87/√*f*	0, 73/*f*	0, 92/*f*	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	1, 375√*f*	0, 0037√*f*	0,0046√*f*	*f*/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Ha egy lakóházban vitatott egy közeli mobil bázisállomás, vagy egy távvezeték, transzformátorállomás egészségügyi hatása, akkor az ÁNTSZ méréseket végez és ezen határértékekkel való összehasonlítás alapján készít szakvéleményt. (Megjegyezzük, hogy egy mobiltelefont használni sokkal nagyobb dózist jelent az egyén számára, mint egy bázisállomás „alatt” lakni. . .).

A táblázatokban feltüntetett értékek egy adott frekvenciára vonatkoznak, mivel a hatások erősen függnek az EM tér frekvenciájától (*f*). A 0 Hz az állandó (statikus) EM mezőt jelenti. Ahol a határérték a frekvencia függvényében van megadva, ott a táblázat első oszlopában megadott mértékegységben kell a frekvenciát a képletbe írni. Így például 50 Hz-es hálózati frekvencia esetén a vonatkoztatási határértékekre 250/0,05 vagyis 5000 V/m elektromos térerősséget és 5/0,05 vagyis 100 μT mágneses indukcióértéket kapunk.

Ha egy testet több, különböző frekvenciájú EM tér illetve sugárzás éri, akkor a mennyiségeket a táblázat értékei szerint súlyozva kell összegezni (integrálni) a határérték meghatározásához. A mérési gyakorlaton használt mérőkészülék a 16 Hz-2 kHz frekvenciatartományon működik; erre a tartományra a vonatkoztatási határérték 400 V/m az elektromos térerősség és 10 μT a mágneses indukcióesetén.

Fontos megjegyezni, hogy alacsonyfrekvenciás (< 150 kHz) mezők esetén az elektromos tér minden feszültség alatt lévő berendezés, vagy vezeték körül jelen van, míg a mágneses mezőt csak akkor mérhetjük a berendezések és a vezetékek körül, ha bennük elektromos áram folyik (tehát bekapcsolt esetben).

Az országonkénti, ajánlásokon alapuló rendeleteken túl, az elektromos berendezések gyártói is meghatároznak határértékeket, sőt, az ún. **elektromos összeférhetőségre** (vagyis a készülék által más berendezésben keltett zavarra) nézve kötelező előírások vannak, ezt a készülékeken található „CE” jelöli. Az elektromos készülékek szórt elektromos és mágneses terét megfelelő, földelt fémburkolattal árnyékolják. A gyártókat kötelező (nem sugár-egészségügyi) előírások gyakran szigorúbbak, mint az egészségügyi határértékek. Ennek jellemző példája a kijelzőket, **monitorokat minősítő MPR és TCO szabványrendszerek**, amelyek a monitorok a váltakozó, alacsonyfrekvenciás elektromos és mágneses mezők nagyságát is korlátozzák (11.4, 11.5. táblázat).

11.4. táblázat. Monitorszabvány határértékek az elektromos mezőre

Frekvenciatartomány	**MPR II**	**TCO ’99**
Statikus mező	±500 V	±500 V
ELF 5 Hz-2 kHz (Band I)	≤ 25 V/m	≤ 10 V/m
VLF 2 kHz-400 kHz (Band II)	≤ 2, 5 V/m	≤ 1 V/m

11.5. táblázat. Monitorszabvány határértékek a mágneses mezőre

Frekvenciatartomány	**MPR II**	**TCO ’99**
ELF 5 Hz-2 kHz (Band I)	≤ 250 nT	≤ 100 nT
VLF 2 kHz-400 kHz (Band II)	≤ 25 nT	≤ 10 nT

Az **MPR II szabvány** szerint a táblázatban szereplő értékeket **50 cm-re a monitortól** kell mérni. A **szigorúbb TCO ’99 szabvány** szerint az ELF (Band I) tartományban az elektromos mezőt a **képernyőtől 50 cm-re**, a VLF (Band II) tartományban a **monitor négy oldalán** kell mérni; a **mágneses indukciót** szintén 50 cm-re a képernyőtől, **3 különböző magasságban, a monitor körül 16 pontban kell vizsgálni**.

ESZKÖZÖK, A MÉRÉS MENETE

ME-3030B digitális elektroszmog analizátor

A gyakorlaton a 16 Hz-2 kHz frekvenciatartományban működő elektromos térerősséget és mágneses indukciót mérő készüléket használunk. A műszer adatait, méréshatárait a 11.6. táblázat foglalja össze

11.6. táblázat Az ME-3030B típusú, digitális elektroszmog analizátor műszaki adatai.

Mennyiség	**Értéke**
Elektromos térerősség a földpotenciálhoz képest	1-9999 V/m
Mágneses indukció	1-2000 nT
Frekvenciatartomány	16 Hz - 2 kHz -2dB
Pontosság	+/- 2%; +/- 20 digit
Méret	74x180x32 mm
Súly	kb. 165 g
Szállításra kerül	földelőkábel

11.1. ábra

Az **ME-3030B digitális** elektroszmog analizátor egy egyszerűen kezelhető kombinált mérőkészülék professzionális méréseket is lehetővé tesz.

Egyedülálló a nagy felbontás, amely még a szigorú építésbiológiai határértékekkel való összehasonlítást is megengedi.

Térerősséggel arányos hangjelet ad ("Geiger számláló effektus"). Automatikus kikapcsolás biztosított.

A hálózati áram (50 Hz) mellett a vasúti felsővezeték biológiailag fontos frekvenciáját is érzékeli, amely frekvencia a vasútvonalaktól néhány km-nyire is bizonyíthatóan észlelhető. A hálózati feszültségnek, pl. a trafóállomásokból származó felharmonikusai is hamisítatlanul megjelennek.

Az **elektromos térerősség méréséhez** a mellékelt földelő vezetéket csatlakoztassuk a készülékhez és a gyakorlatvezető által megadott földelő ponthoz. Ügyeljünk arra, hogy a kezünk és a vezeték ne kerüljön a készülék érzékelője elé. A mérést mindig három, egymásra merőleges *x*, *y*, *z* irányban végezzük, az így mért elektromos térerősség vektor *Ex*, *Ey*, *Ez* komponenseiből a térerősség nagyságát a következő módon számítjuk:

$$E = \sqrt{E_{2x} + E_{2y} + E_{2z}} \qquad (11.1)$$

A **mágneses indukció mérésénél** a földelővezeték nem szükséges, a mérést szintén a három tengely mentén mérjük és a mágneses indukcióvektor nagyságát a *Bx*, *By*, *Bz* komponensekből kapjuk:

$$E = \sqrt{B_{2x} + B_{2y} + B_{2z}} \qquad (11.2)$$

A méréseknél ne felejtsük el az aktuális háttér értékének kivonását, természetesen komponensenként!

FELADATOK, EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

1. Mérjük meg a mérőhely három különböző pontján a műszer frekvenciatartományára vonatkozó elektromos térerősséget és mágneses indukció nagyságát! Hasonlítsuk össze a megadott vonatkoztatási határértékekkel (E <400 V/m, B <10000 nT)!
2. Mérjük meg a kiadott hálózati fényforrásoktól 5 különböző távolságban E és B értékét (ha mérhető nagyságú)! Ne felejtsük el minden esetben a fogyasztó kikapcsolása mellett ugyanazon ponton a háttérértékeket is mérni és levonni a bekapcsolt esetben mérhető értékekből!
3. Mérjük meg egy monitor alacsonyfrekvenciás E és M értékeit az alsó sávban (Band I), a monitor négy oldalán, a képernyőtől 50 cm távolságban! Megfelel-e a monitor a szabványban (MPR II, illetve TCO'99) előírt határértékeknek?
4. Ábrázoljuk a 2. pontban vizsgált fényforrások elektromos térerősségét illetve mágneses indukcióját a távolság függvényében!
5. Értékeljük a kapott eredményeket!

KÉRDÉSEK

1. Milyen frekvencia tartományokon működnek elektromos berendezések, távközlési rendszerek?
2. Milyen fizikai hatást fejtenek ki az élő szervezetben a váltakozó elektromágneses terek tartományoktól függően?
3. Milyen frekvencia tartományon beszélhetünk az elektromágneses tér esetében külön az elektromos és mágneses mezőről?
4. Milyen fizikai hatást fejt ki a rádiófrekvenciás tartomány az élő szervezetre?
5. Hogyan értelmezzük a fajlagosan elnyelt teljesítményt?
6. Adja meg az elektromos erőtér jellemezésére szolgáló elektromos térerősség mennyiséget, és mértékegységét!
7. Adja meg a mágneses erőtér jellemezésére szolgáló mágneses indukció mennyiséget, és mértékegységét!
8. Adja meg teljesítménysűrűség mennyiség definícióját és mértékegységét!
9. Adja meg a fajlagos energiaelnyelés definícióját és mértékegységét!
10. Adja meg a fajlagosan elnyelt teljesítmény definícióját és mértékegységét!
11. Hogyan függ a vonatkoztatási határérték az elektromos térerősségtől, a mágneses indukciótól?
12. Milyen távolságban kell mérni a monitorok elektromos terét és a mágneses indukciót az MPR-II szabvány szerint?
13. Miért mér három, egymásra merőleges irányban elektromos térerősséget és mágneses indukciót?
14. Hogyan számolja ki az elektromos térerősség vektort az egymásra merőleges irányban mért komponens értékekből?
15. Hogyan számolja ki a mágneses indukció vektort az egymásra merőleges irányban mért komponens értékekből?
16. Mi a méréshatára a ME-3030B digitális elektroszmog analizátornak az elektromos térerősség és a mágneses indukció meghatározását illetően?
17. Milyen irányokban és milyen távolságban kell mérni a monitorok elektromos terét és a mágneses indukciót a TCO99 szabványrendszer szerint a 400 Hz és a 2 kHz frekvenciájú tartományon?

Dr. Német Béla, Szász János
Pécs, 2008. március 18.