

# KISFREKVENCIÁS ERŐTEREK EGÉSZSÉGI ÉS ELEKTROMÁGNESES ÖSSZEFÉRHETŐSÉGI KÉRDÉSEI

Varjú György

a műszaki tud. doktora, tanszékvezető egyetemi tanár, BME Villamosművek Tanszék  
e-mail: varju@vmt.bme.hu

## 1. Bevezetés

Az 1970-es években kezdődött a 400 kV-ot meghaladó igen-nagy, extra-nagy és ultra-nagy feszültségű rendszerek bevezetése és ilyen feszültségű szabadvezetékek építése. Ennek kapcsán mind a szakmai kör, mind a lakosság érdeklődésének középpontjába került az e létesítmények környezetében kialakuló, a korábbiaknál lényegesen nagyobb villamos erőter, ill. ennek a lehetséges egészségi hatásai. Még mielőtt a villamos térrel kapcsolatos kérdések teljes körűen tisztázódtak volna, még élesebben kerültek előtérbe a villamos-energia-hálózatok és a villamos berendezések környezetében kialakuló mágneses erőter lehetséges egészségi hatásai, ill. esetleges ártalmaival kapcsolatos aggodalmak.

Az alábbiakban ismertetjük az egészségi hatás szempontjából megengedett testáramok – mint alapvető határértékek – nagyságát, amelyeknek megállapítása az élettudományok szakmai kompetenciájába esik, ezekből – a testáramok meghatározására vonatkozó szimulációs vizsgálatok alapján – leszármaztatható az erőterek nagysága. Utána az ajánlott egészségi határértékeket, majd a különböző környezetekben ténylegesen kialakuló erőterek nagyságát mutatjuk be.

A két utóbbi kérdéscsoport megválaszolásához szükséges szimulációs eljárások

kidolgozása és alkalmazása a műszaki tudományok köréhez tartozik. Az erre vonatkozó részletre azonban a közlemény – terjedelmi okokból – nem tér ki.

A mágneses erőterekkel kapcsolatban utalunk az elektromágneses összeférhetőségből adódó szempontokra és az összeférhetőségi szintekre. A cikk végül kitér az Egészségügyi Világszervezet (WHO) keretében létrehozott Nemzetközi Elektromágneses Terek (EMF) Projektnek az extrém kisfrekvenciájú erőterek egészségi hatására vonatkozó álláspontjának ismertetésére.

## 2. Az elektromágneses hatások tartományai

A környezet jellemzéséhez hozzátartozik az elektromágneses környezet leírása is. Az elektromágneses környezet meghatározó jelenségek *keletkezésük szerint* lehetnek természeti eredetűek vagy ember által előidézett hatások.

a) A *természeti* elektromágneses környezeti hatások eredetük szerint három csoportba sorolhatók:

- a Földtől származó hatások (földmágneses tér és a zivatarok) több száz amper eléré egyenáram jellegű árama;
- légköri villamos hatások (mint a töltésmegosztásból eredő villamos erőter és a villámjelenséggel járó, gyorsan változó villamos és mágneses erőterek);
- a Naptól és világűrből jövő hatások

(pl. az ibolyántúli [UV] és kozmikus sugárzás), amelyek már az ionizáló sugárzások körébe tartoznak.

b) A *mesterséges*, ember által előidézett elektromágneses környezeti hatások a villamosságot használó technikák alkalmazásával jelentek meg:

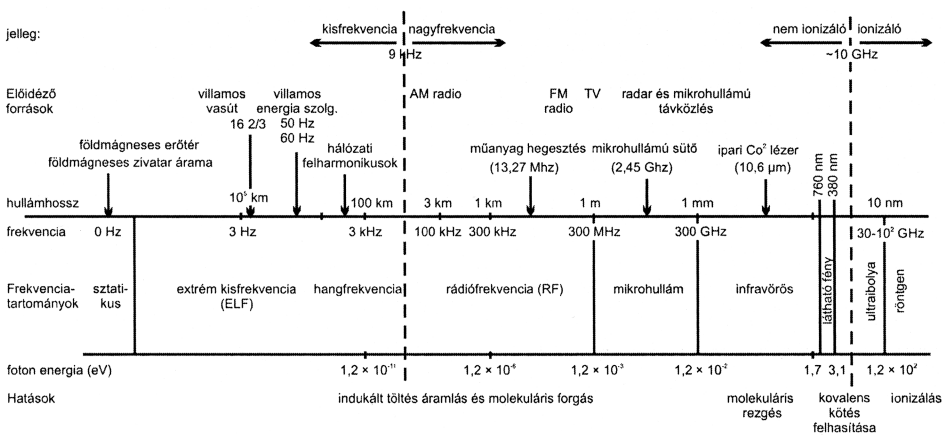
- egyenáramú áramellátás, ipari alkalmazások (pl. nagy áramú elektrolízis) valamint a városi és villamos nagyvasúti vontatás;
- váltakozó áramú (50 és 60 Hz-es) villamos energiaellátás és villamos vasúti (16 2/3 és 50 Hz-es) vontatás;
- különleges frekvenciájú (pl. 400 Hz-es repülőgép) táplálások és ipari frekvenciás technológiák (pl. középfrekvenciás ipari hevítés) áramellátása;
- rádió-távközlési technológiák: pl. az amplitúdómodulált és frekvenciamodulált (URH és TV) rádiózás, a mikrohullámú rendszerek, majd a mobil és úrtávközlési rendszerek;
- röntgen- és lézertechnikák alkalmazása, amelyek már az ionizáló sugárzások területére esnek.

Az elektromágneses hatások frekvencia szerinti felosztása az **1. ábrán** látható [1].

A legfontosabb elhatárolás a nem ionizáló és ionizáló sugárzások biológiai hatás szempontjából való megkülönböztetése, mivel az – adott szint feletti – ionizáló sugárzások egészségkárosító hatása egyértelműen bizonyított, míg a nem ionizáló elektromágneses terekre – az általában előforduló szintek esetén – ez nem mondható ki. A nem ionizáló és az ionizáló sugárzás közötti határt az ultraibolya tartományban, a 100 nm hullámhossznál,  $3 \times 10^{15}$  Hz-nél, azaz 3 PHz (pikoHz) frekvenciánál húzták meg, ahol a foton energiája 12,4 eV. Az elektromágneses terek hatásainak vizsgálata – nemzetközileg általánosan elfogadott gyakorlat szerint – egyértelműen a nem ionizáló terekre szorítkozik.

A nem ionizáló elektromágneses tereket „kisfrekvenciás” és rádiófrekvenciás (RF) tartományokra osztják annak alapján, hogy a kisfrekvenciás terek esetében a villamos és mágneses erőter különválasztható mind az erőteret előidéző forrás, mind az erőter nagyságának jellemzése, mind pedig az erőterek egészségi hatása szempontjából.

A legkisebb frekvenciatartományba eső erőterek szokásos további osztályozása:



**1. ábra** • Az elektromágneses terek forrás és frekvenciatartomány szerinti felosztása

- 30 Hz-nél kisebb frekvencia: a statikus és időben nagyon lassan változó erőtereket foglalja magában;

- 30–300 Hz közötti, extrém kisfrekvencia, ELF (extremely low frequency): elsősorban a villamosenergia-ellátással kapcsolatos erőterekre terjed ki.

Ez az anyag főképpen az ELF erőterekkel összefüggő kérdésekkel foglalkozik, azonban esetenként kitér a 100 kHz-ig terjedő frekvenciákkal kapcsolatos egészségi kérdésekre, tekintettel arra, hogy eddig a határig a biológiai hatások szempontjából az alapvető korlát a testben létrejövő áramok sűrűsége, és csak a 100 kHz feletti frekvenciájú elektromágneses terekben lép be a fajlagosan elnyelt teljesítmény mint további korlát (lásd a 2. pontot).

A frekvenciatartomány előzőek szerinti felosztása alapvetően az elektromágneses környezet és az élő – mindenekelőtt az emberi – szervezet közötti összeférhetőségi szempontok alapján történt. További szempont az elektromágneses környezet és az abban használt villamos és elektronikus eszközök közötti elektromágneses összeférhetőség fenntartása. Ebből a szempontból az elektromágneses zavarjelenségeket a 9 kHz alatti kisfrekvenciás és e feletti nagyfrekvenciás csoportba sorolják.

### 3. Biológiai hatások és testáram-határértékek

Az elektromágneses tér biológiai, ill. egészségi hatásának megállapítása az élet-tudományok (a biológia – különösen a sugárbiológia –, az élettan, az orvostudomány stb.) művelőinek feladata. A cél egyrészt annak a tisztázása, hogy a hatások az elektromágneses térnek milyen fizikai jellemzőihez köthetők, másrészt pedig az, hogy e jellemzőkre olyan határértékeket adjunk meg, amelyek szintje alatt a hatások nem lépnek fel, ill. nem járnak káros következményekkel.

A frekvenciatartomány az alábbiak szerint osztható fel annak függvényében, hogy az egészségi hatás szempontjából milyen fizikai jellemzővel adható meg az elektromágneses térre vonatkozó alapvető korlát:

a) 0–1 Hz között az alapvető korlát a mágneses fluxussűrűség sztatikus (0 Hz-es) mágneses térre, és az áramsűrűség 1 Hz-ig terjedő időben változó erőterekre a szív- és érrendszeri, valamint a központi idegrendszeri hatások elkerülésére;

b) 1 Hz–10 MHz között a korlát az áramsűrűség, hogy az idegrendszeri funkciókat érő hatásokat elkerülhessük;

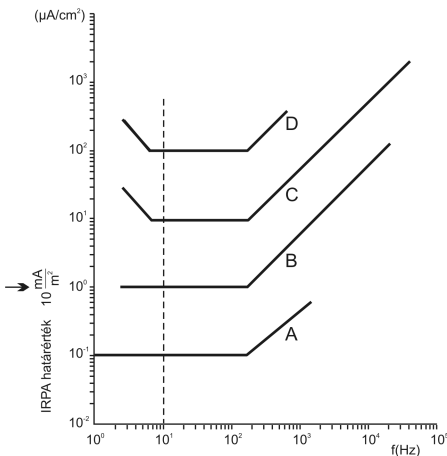
c) 100 kHz–10 GHz között a korlát a fajlagosan elnyelt teljesítménynek a teljes testre gyakorolt hőhatása, valamint a szövetek helyi túlmelegedése szempontjából. 100 kHz–10 MHz között mind az áramsűrűség, mind pedig a SAR korlátozó feltétel;

d) 10 GHz–300 GHz között a korlát a testfelület, illetve az annak közelében levő szövetek melegedése.

#### a) Asztatikus indukció és testáram-sűrűség alapvető korlátai

A lehetséges biológiai hatások a 100 kHz-nél kisebb frekvenciájú erőterekben az általuk a testben létrehozott áramok sűrűségével hozhatók összefüggésbe. (Az áramsűrűség az egységnyi test-keresztmetszeten átfolyó áram, az SI alapegység szerint  $A/m^2$ -ben kifejezve. Szokásos mértékegységei:  $mA/m^2$ ,  $mA/cm^2$  vagy  $nA/cm^2$ , ahol  $10 mA/m^2 = 1 mA/cm^2 = 1000 nA/cm^2$ .)

A 2. ábra szemléletes formában tünteti fel az áramsűrűség különböző hatásokat kiváltó küszöbérték-tartományait a frekvencia függvényében. A vízszintes szakaszokra esnek a hálózati frekvenciás hatások. Az 1. táblázatban az áramsűrűség függvényében a lehetséges biológiai hatásokat tüntetjük fel – az ábrához képest egyszerűsítve – a hatásokat csak három sávba sorolva.



A – nincs biológiai hatás (a természetes agyáramsűrűség átlaga)  
B – jól meghatározott hatások, beleértve a látási és idegrendszeri hatásokat  
C – ingerlékeny szövet izgatása (a lehetséges egészségi kockázat határa)  
D – extra szívösszehúzódnás és szívkamrarelebegés (akut egészségi kockázat határa)

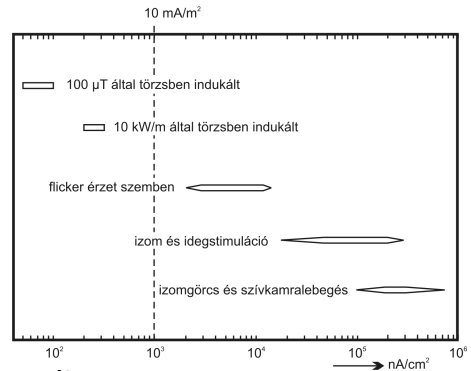
## 2. ábra • Különböző hatásokat keltő áramsűrűség-küszöbök a frekvencia függvényében

A 3. ábra a hálózati frekvenciájú, különböző áramsűrűségek estén fellépő hatásokat szemlélteti. Az ábra egyben feltűnteti a lakosságra megengedett mágneses indukció (100 mT), ill. villamos térerősség (10 kV/m) hatására a törzsben indukált áram sűrűségét is.

A villamos és mágneses erőterekre vonatkozó alapvető korlátokat a 2. táblázat adja meg. Látható, hogy a sztatikus mágneses erőterekre a korlát magára a mágneses indukcióra van megadva. Ez azzal függ össze, hogy sztatikus tér jellegéből (nulla frekvencia, ill. körfrekvencia) adódóan nem indukál testáramot. Ezért a 2. oszlopban megadott (40 mT) indukció kor-

| A hatás megnevezése | áramsűrűség-tartományok (mA/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|----------------------------------------------|
| < 1                 | nincs biológiai hatás                        |
| 1–10                | minimális biológiai hatás                    |
| 10–100              | látószervi és idegrendszeri hatás            |

## 1. táblázat • A különböző testáram-sűrűségnél fellépő hatások



3. ábra • Különböző áramsűrűség-tartományokban fellépő ingerek hálózati frekvencián

lát lényegesen – 400-szor – nagyobb, mint az 50 Hz-es hálózati frekvenciára vonatkozó határérték. Az időben változó villamos és mágneses erőterek által a fejben és a törzsben előidézett áramok sűrűségére a foglalkozási körre (2. táblázat 3. oszlop) megadott határértékek az illetékes nemzetközi bizottság (ICNIRP) szerinti határértékeknek felelnek meg [2]. Látható, hogy a foglalkozási körben, a hálózati frekvenciát is magában foglaló frekvenciatartományban megengedett áramsűrűség 10 mA/m<sup>2</sup>. Ez lényegében akkora áramsűrűséget jelent, amekkorát az izomszövetek működésük közben maguk is létrehozhatnak (elektromyogram jelek). Az Európai Tanács ajánlásában [3] a lakosságra behatására vonatkozó – a 2. táblázat 4. oszlopában feltüntetett – határértékek a foglalkozási körre vonatkozó korlátok egyötödének felelnek meg. Megjegyzendő, hogy a megadott korlátok teljes idejű (napi 24 óráig tartó) behatás esetére vonatkoznak. A rövidebb behatási idő határértékei nagyobbak. Az Ajánlás megjegyzi: tekintettel arra, hogy az alapvető korlátokat a központi idegrendszerre gyakorolt káros hatás alapján határozták meg, ugyanolyan behatásnak kitett más testszövetekben megengedhető ennél nagyobb áramsűrűség is. A különböző

| frekvenciatartomány | mágneses indukció<br>mT | áramsűrűség a fejre és<br>nyakra mA/m <sup>2</sup> (effektív) |                             |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                     |                         | foglalkozási                                                  | lakossági                   |
| 0 Hz                | 40                      | -                                                             | -                           |
| 1 Hz-ig             | -                       | 40                                                            | 8                           |
| 1 Hz – 4 Hz         | -                       | 40/f                                                          | 8/f                         |
| 4 Hz – 1 kHz        | -                       | 10 (1000 nA/cm <sup>2</sup> )                                 | 2 (200 nA/cm <sup>2</sup> ) |
| 1 kHz – 10 MHz      | -                       | F/100                                                         | f/500                       |

**2. táblázat** • A sztatikus mágneses indukció, valamint a villamos és mágneses erőkterek által előidézett testáram-sűrűség alapvető korlátai

testáram-sűrűségek hatásairól a **3. ábra** ad szemléletes áttekintést.

### *b) Az érintési áram korlátai*

Meg kell jegyezni, hogy a feszültség alatt álló berendezésekkel való érintkezéskor kialakuló úgynevezett érintési áramokra az előzőekben megadott testáram-sűrűségekre vonatkozó értékektől eltérő – az érintés-védelem alapjául szolgáló – előírások foglalkoznak [4]. A hálózati frekvenciás áramoknak a férfi szervezetre általában gyakorolt hatásai az alábbiakban nyilvánulnak meg:

- 0,5-1 mA érzetküszöb
- 1,6-15 mA erős rázásérzet
- 20-25 mA izomgörcs
- 25-80 mA szabálytalan szív működés
- 80-100 mA szívkamralebégés
- 100 mA felett agyhalál

A ténylegesen kialakuló hatást egyebek között jelentősen befolyásolhatja a behatás időtartama, az áram útja a testen belül, az egyén általános egészségi és idegállapota. Az áramütés során a szívkamralebégés miatt bekövetkező halál kockázata számottevően nő akkor, ha a szív beleesik az áram-pálya útjába (kéz-kéz kapcsolat az áramkörrel) és az áramütés időtartama nagyobb két szívverés közötti időnél, azaz egy másodpercnél.

Az erőterektől – mindenekelőtt a kiterjedt fémtestek érintésekor fellépő kapacitív

töltőáramokból – adódó érintési áramok határértékeire a **3. táblázat** szerinti határértékek az irányadók [3]. A megadott értékek a felnőtt férfiakban kiváltott biológiai válaszingeren alapulnak. E határértékeknek megközelítőleg a kétharmada vehető alapul felnőtt nők, míg fele gyerekek esetében.

| frekvenciatartomány | érintési áram [mA] |
|---------------------|--------------------|
| 0 Hz – 2,5 kHz      | 0,5                |
| 2,5 kHz – 100 kHz   | 0,2f               |
| 100 kHz – 110 MHz   | 20                 |

### **3. táblázat** • Az érintkezési áram határértékei

Látható, hogy nagyobb frekvenciákon a megengedett határérték is nagyobb. Ez abból adódik, hogy a frekvencia növekedésével az áram egyre inkább kiszorul a test felületére (szkinhatás), ezzel elkerüli az áramra érzékenyebb belső szerveket, mindenekelőtt a szívet. A 100 kHz –110 MHz frekvenciatartományban bármely végtagra nézve 45 mA határérték ajánlott.

### **4. Villamos és mágneses erőkterek hatásmechanizmusa és határértékei**

Az előzőekben megadott testáram-sűrűség határértékek alapján akkor tudjuk megítélni azt, hogy valamely a környezetben fellépő villamos vagy mágneses erőter jár-e

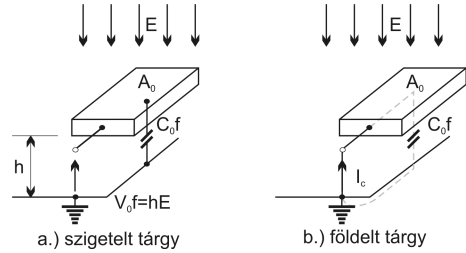
egészségi kockázattal, ha minőségileg és mennyiségileg egyaránt ismerjük az erőterek és az általuk létrehozott testáramok közötti kapcsolatot. Ez a villamos és a mágneses erőter esetén eltérő, ezért az alábbiakban külön foglalkozunk velük.

#### a) A villamos erőter által létrehozott testáramok

A villamos erőteret a különválasztott, tipikusan a vezető anyagok felületén elhelyezkedő töltések hozzák létre. Nagyságának jellemzésére az  $E$ -vel jelölt, V/m-ben kifejezett villamos térerősség szolgál. A tér egy adott pontjában, az  $E$  villamos térerősség annak az erőnek a nagyságát és irányát fejezi ki, amely az adott pontban levő 1 coulomb pozitív töltésre hat. Továbbá  $E$ -nek a tér két pontja közötti hely szerinti integráljának értéke megadja a két pont közötti  $U$  feszültséget (V-ban). A villamos teret létrehozó két ellentétes töltést hordozó elektróda feszültsége és a töltés közötti kapcsolatot a  $Q = CU$  összefüggés fejezi ki, ahol  $C$  az elektródák közötti kapacitás faradban (F) mérve. Ezekből a kapcsolatokból látszik, hogy a nagyfeszültségű létesítmények – elsősorban a nagyfeszültségű szabadvezeték és szabadtéri állomások – járnak együtt nagy töltéssel és ezeknek a környezetben jön létre nagy villamos erőter.

Villamos vezető anyagokban, mint amilyenek a fémek vagy az élő szervezetek szövetei, a szabad töltések a térerő hatására elmozdulnának a felület felé. Ebből következik, hogy a vezető anyagokban szabad töltés csak a felületen helyezkedhet el, másrészt a vezetőn belül nem lehet sztatikus villamos erőter. Időben változó villamos erőter hatására a testáramok a töltéseknek az erőter változását kísérő átrendezéséből adódnak.

A testáramok villamos erőter következtében való kialakulásának mechanizmusát a 4. ábra érzékelteti.



4. ábra • Villamos erőterben levő tárgyon kialakuló feszültség és kapacitív töltőáram

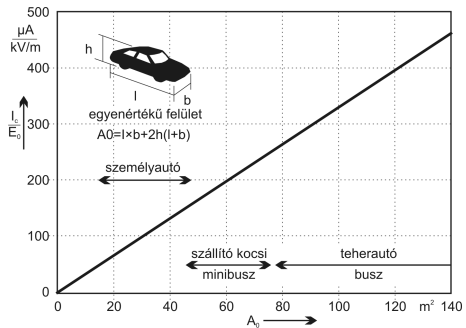
Villamos erőteről mentes környezetben az emberi testben levő szabad pozitív és negatív töltések párokban, egymást lekötve helyezkednek el (4/a. ábra).

A testáram kiszámítása a villamos erőter helyfüggésének, valamint az emberi – vagy más vizsgálendő – test alakjának pontos figyelembevételével, meglehetősen bonyolult feladat. A gyakorlatban az alábbi két lehetőség valamelyikét szokták követni:

- közelítő analitikus kifejezések használata az emberi test geometriáját számításra jól követhető formával – pl. forgási ellipszoiddal – helyettesítve;

- pontosabb leképzést lehetővé tevő numerikus eljárások alkalmazása.

A töltőáram kialakulásával a gyakorlatban főképp a nagyfeszültségű távvezeték alatt tartózkodó járművek esetében



5. ábra • Különböző méretű járművek földelésekor kialakuló, 1 kV/m térerősségenkénti, kapacitív töltőáram

kell számolni. Erre vonatkozó tájékoztató értékek láthatók az **5. ábrán**. A gumikerektől járművek szigetelése általában jó, ezért a villamos térben a **4/a. ábra** szerinti  $V_{of}$  feszültségre kerülnek. A veszély akkor állhat elő, amikor a járművet valamilyen földkapcsolatban levő vezetővel megérintjük, ugyanis a megközelítés során először kis villamos szikrán át jön létre a kapcsolat, majd az érintkezés bekövetkeztekor az  $I_c$  töltőáram levezetése definitív pályán történik (**4/b. ábra**). A szikra az üzemanyagot szállító járműveken tüzet vagy robbanást okozhat, az emberi testen át való földelés a kontaktus létrejöttékor kialakuló „csípésen” túl áramütés veszélyével is járhat. E veszélyek a villamos erőterben tartózkodó járműnek definitív, vezetői úton való földelésével kerülhetők el.

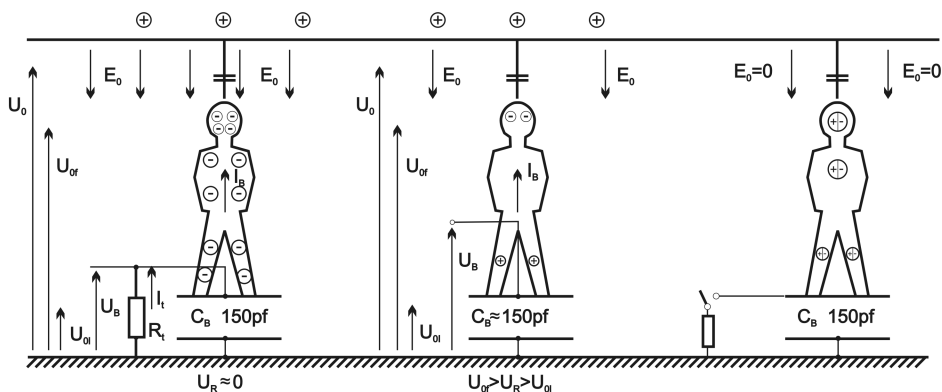
Az álló emberi testben a villamos erőter hatására kialakuló áramok vizsgálatok figyelembe kell venni azt, hogy a függőleges irányú méret és a  $h$  magasság egybeesik, azaz nem „lapszerű” testről van szó. Ennek megfelelően egyrészt testáram alakul ki magából a testen belüli töltésmegosztásból, másrészt a testáram nagysága és különösen a sűrűsége változik a magasság szerint. Számottevő különbség adódik abból, hogy a test a földdel különböző kapcsolat-

ban lehet, attól függően, hogy az alábbi három feltétel melyike áll fenn:

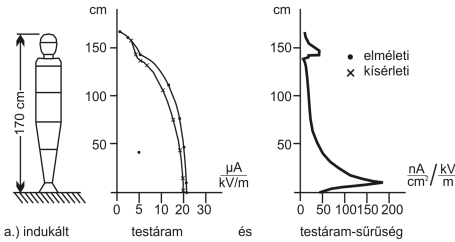
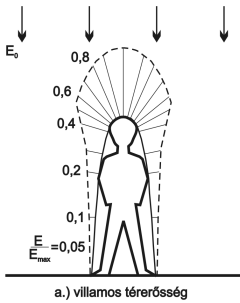
- Ha a test a földtől szigetelve van (**6/b. ábra**). Például ha az ember száraz, műanyag talpú cipőt hord, amelynek a leveztési ellenállása 100 MW nagyságrendű. Ez alapján véve veszélytelen, de földelt szerkezeti rész vagy személy megközelítésekor áttütelssel induló „csípésérzetet” keltő kisülési áram lép fel.

- Ha a test földelt (**6/c. ábra**), például úgy, hogy földelt szerkezeti részhez érünk, vagy nedves bőrtalpu cipőt viselünk (ellenállása 15 kW körül van), akkor a test földpotenciálra lesz, viszont a földdel kapcsolódási úton töltőáram folyik. Ha az ember a talpán át érintkezik a földdel, akkor a testben folyó áram a talptól a fej felé haladva folyamatosan csökken (**7/b. ábra**). Mivel az egészségi korlát értékeit testáram-sűrűségekre írják elő, a testáram számításánál a test-keresztmetszettel osztva nyert áram-sűrűség-értékeket kell alapul venni (**7. ábra**). Nyilvánvaló, hogy ennek maximuma a talp közelében, a legkisebb keresztmetszetenél, azaz a bokánál van.

Utalni kell arra, hogy a szigetelt testek, tipikusan a gumikerektől járművek megérintésekor – a fentebb leírtak szerint – kialakuló töltőáram lényegesen nagyobb, mint az



6. ábra (a, b, c) • A testáramok kialakulása villamos erőterben



7. ábra • Villamos erőter hatására

kialakuló testáram- és testáramsűrűség-értékek

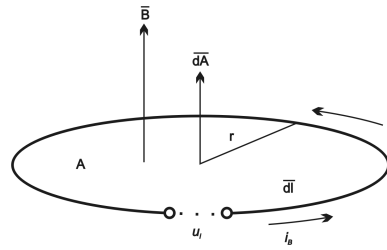
emberi test saját kapacitív töltőárama, ezért – védelmi intézkedés hiányában – ez jár nagyobb veszéllyel.

- Ha a test a fenti határesetek közötti közbenső talpponti ellenálláson át földelt, akkor nyilvánvalóan olyan közbenső állapot áll elő, amelyben az első esetben említettől kisebb testfeszültség lép fel és a második esetben említettől kisebb testáram folyik.

#### b) A mágneses erőter által létrehozott testáramok

A mágneses erőter hatásmechanizmusa – a villamos erőterhez képest – két fontos körülményben különbözik:

- A mágneses erőteret az áramló töltések hozzák létre, ennek megfelelően nagysága az áramerősségtől és nem a feszültségtől függ. Mivel – adott villamos teljesítmény esetén – kisebb feszültséghez nagyobb áram tartozik, a kisfeszültségű berendezések is meglehetősen nagy mágneses erőteret kelthetnek.



8. ábra • A mágneses erőter által indukált test-örvénnyáram kialakulásának mechanizmusa

- A kisfrekvenciás mágneses erővonalak gyakorlatilag csillapítatlanul behatolnak a testbe, és benne mint villamosan vezető anyagban örvénnyáramokat indukálnak.

A testszövetben indukálódó örvénnyáram mechanizmusát a 8. ábra szemlélteti.

Az indukált testáram-sűrűség arányosan nő a frekvenciával, a szerv – az adott metszethez tartozó – kerületi sugarával és a mágneses erőter nagyságával, és fordítva arányos a szövet fajlagos ellenállásával.

A jellegzetes esetekre vonatkozó testáram-sűrűség értékeket ad meg a 4. táblázat. A számok azt érzékeltetik, hogy mind a foglalkozási, mind a lakossági körre megengedett indukció határértékei esetén az indukált testáram-sűrűség a megengedett értéknek kb. egynegyede, az alapvető korlátokban tehát mintegy négyszeres tartalék van.

#### c) A villamos és a mágneses erőterre ajánlott határértékek

Az előzőekben tárgyalt, a biológiai hatások alapján a testáram-sűrűségekre megállapított alapvető korlátokból kiindulva, valamint a testáram kialakulása és erőter jellemzői közötti hatásmechanizmust és kvalitatív kapcsolatot felhasználva leszámaztathatók magára a villamos és mágneses erőterre ajánlott határértékek. Ezt az eljárást a hatásmechanizmus leírásakor – visszafelé alkalmazva – be is mutattuk.

| testrészt<br>megnevezése        | sugara [cm] | foglalkozási<br>[500 mT] | lakossági<br>[100 mT] |
|---------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|
| szív                            | 5           | 0,40                     | 0,08                  |
| fej                             | 10          | 0,80                     | 0,16                  |
| törzs                           | 30          | 2,36                     | 0,47                  |
| megengedett ICNIRP áramsűrűség: |             | 10                       | 2                     |

Megjegyzés: A testszövet feltételezett fajlagos ellenállása:  $r = 10 \text{ Wm}$  (100 mS/m)

**4. táblázat** • Mágneses erőter által indukált testáram-sűrűségek [ $\text{mA/m}^2$ ] az ICNIRP határértékeknek megfelelő B indukció esetén

A villamos és mágneses erőterre ajánlott határértékek az alapvető korlátként megadott értékekkel szemben az az előnye, hogy ezek egy bizonyos környezetre számítással vagy mérésel megállapítható, ellenőrizhető jellemzők. Magukat az ajánlott határértékeket az **5. táblázat** tartalmazza. A mágneses erőter jellemzésére, mind a  $H$  [A/m] térerősségre, mind a  $B$  [mT] indukcióra meg vannak adva a határértékek.

Ezek az  $1 \text{ [A/m]} = 1,26 \text{ [mT]}$  összefüggéssel egymással összerendelt értékek.

A foglalkozási körre megadott értékek az ICNIRP ajánlása szerintiek [2], míg a lakosságra vonatkozóak a EU Tanács ajánlása [3] szerintiek. A kisfrekvenciás tartományokban – beleértve az 50 Hz-et is – a lakosságra ajánlott határérték a foglalkozási körre megadottnak a villamos térre a fele, a mágneses térre az ötöde.

| alkalmazási<br>kör | frekvencia-<br>határok | E<br>térerősség<br>V/m | H<br>térerősség<br>A/m       | B indukció<br>$\mu\text{T}$  |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| foglalkozási       | 1 Hz alatt             | -                      | $163 \times 10^3$            | $200 \times 10^3$            |
|                    | 1-8 Hz                 | 20 000                 | $163 \times 10^3/\text{f}^2$ | $200 \times 10^3/\text{f}^2$ |
|                    | 8-25 Hz                | 20 000                 | $20 \times 10^3/\text{f}$    | $25 \times 10^3/\text{f}$    |
|                    | 0,025-0,82 kHz         | 500/f                  | 20/f                         | 25/f                         |
|                    | 50 Hz                  | 10 000                 | 400                          | 500                          |
|                    | 0,82-65 kHz            | 610                    | 24,4                         | 30,7                         |
|                    | 0,065-1 MHz            | 610                    | 1,6/f                        | 2,0/f                        |
|                    | 1-10 MHz               | 610/f                  | 1,6/f                        | 2,0/f                        |
|                    | 1 Hz alatt             | -                      | $32 \times 10^3$             | $40 \times 10^3$             |
|                    | 1-8 Hz                 | 10 000                 | $32 \times 10^3/\text{f}^2$  | $40 \times 10^3/\text{f}^2$  |
| lakossági          | 8-25 Hz                | 10 000                 | 4000/f                       | 5000/f                       |
|                    | 0,025-0,8 kHz          | 250/f                  | 4/f                          | 5/f                          |
|                    | 50 Hz                  | 5000                   | 80                           | 100                          |
|                    | 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               | $87/\text{f}^{1/2}$    | 0,73/f                       | 0,92/f                       |

**5. táblázat.** Időben változó villamos és mágneses erőterre ajánlott egészségi határértékek (torzítatlan effektív értékek)

Az ajánlott érték a behatásnak kitett személy teljes testére vonatkozó térbeli átlagértéknek tekintendő, azzal a megszorítással, hogy az alapvető korlát helyi behatás esetén sem léphető túl. A villamos és a mágneses erőkter hatásait – összegezés nélkül – külön kell vizsgálni. A 100 kHz-nél kisebb frekvenciájú villamos térre vonatkozóan a foglalkozási körre megadott érték a kétszeresére emelhető, feltéve, hogy a villamosan töltött testek érintéséből adódó kisülési áram közvetett káros hatásával nem kell számolni.

### 5. A gyakorlatban fellépő erőkterek jellege és nagysága

Az alábbiakban röviden jellemezzük a gyakorlatban előforduló villamos és mágneses erőktereket, mindkét esetben megkülönböztetve a statikus (egyenáramú) és a váltakozó áramú, elsősorban a hálózati frekvenciájú tereket.

#### 5.1 Villamos erőkterek

##### a) Sztatikus villamos erőkter

Jelentős, természeti eredetű sztatikus villamos erőkter jöhet létre a légköri villamos jelenségek következtében. A villamos töltéseknek a föld és a villamosan vezető, 40 km feletti atmoszféra rétegei közötti megosztása következtében a Föld felszíne közelében a nap jelentős részében 130 V/m körüli sztatikus villamos tér jön létre. Zivataros időszakban ennek sokszorosa mérhető. Ahol nincs közvetlen villámlás, a térerősség 3 kV/m is lehet, míg a villámlásos területeken a villamos térerősség meghaladhatja a 20 kV/m-t.

A katódsugaras monitoroktól kb. 30 cm távolságban néhányszor 10 kV/m térerősség mérhető.

Sztatikus feltöltődés következik be akkor, ha az ember jó szigetelő anyagú padlón jár vagy ilyen anyagok egymáshoz dörzsolódnak. Ekkor a test közelében 10 és

500 kV/m közötti térerősség jöhet létre. Ha az így feltöltött test földelt jellegű másik testhez közeledik, akkor átívelés keletkezik, és az íven majd az esetlegesen létrejövő közvetlen érintkezésen át az emberi test kapacitásán (kb. 150 pF) felhalmozott töltés kisül. A kisülés rendkívül gyors – kb 5 ns-ig növekvő, majd 30–50 ns alatt a csúcserősség felére csökkenő – impulzus formájában történik. Az érzékeny elektronikus eszközökben ez az áramkörök sérülését vagy hibás működését idézheti elő. A leírt zavarjelenség az úgynevezett elektromágneses kisülés.

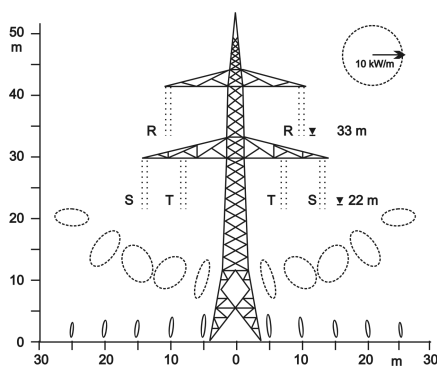
Az egyenáramú villamos rendszerek alkalmazásának két fő területe a villamos vontatási és a nagyfeszültségű energiaátvitel. A városi villamos és a metró hálózatain használt 500 V tápfeszültségű felsővezeték-től kb. 5 m-re 30 V/m körüli villamos térerősség jön létre. A nagyvasúti vontatásnál használt 1,5 vagy 3 kV tápfeszültség a kocsiban 300 V/m-ig terjedő térerősséget okozhat. Az 500 kV körüli nagyfeszültségű egyenáramú távvezeték mentén, közvetlenül a vezeték alatt 20 kV/m-ig terjedő villamos térerősség mérhető.

##### b) Kisfrekvenciás (ELF) villamos erőkter

A természeti eredetű kisfrekvenciás villamos térerősség nagyon gyenge,  $10^{-4}$  – 0,5 V/m az 5–1000 Hz frekvenciatartományban. Ebből következően a környezetben fellépő ELF villamos tér forrásai gyakorlatilag teljes egészében az 50 Hz-es villamos berendezések és hálózatok.

Az iparosított országok tipikus otthonaikban mérhető átlagos villamos térerősség az 1–15 V/m tartományba esik. A térbeli eloszlás nagyon inhomogén. A háztartási és irodai berendezések közelében (30 cm-re) a 10–500 V/m térerősség jellemző, ami még mindig csak töredéke a javasolt egészségi határértéknek.

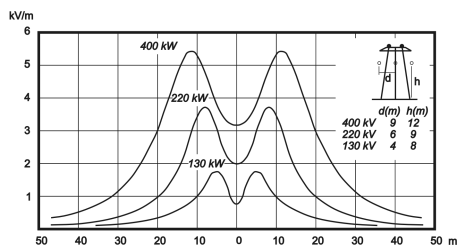
Igazán nagy, az egészségi hatások szempontjából megengedett határértéket megközelítő villamos térerősségek csak a nagyfeszültségű (120 kV feletti), háromfázisú vezetékek környezetében alakulnak ki. A fázisvezetők szimmetrikus háromfázisú feszültségrendszere a vezeték nyomvonalára merőleges sík egyes pontjaiban elliptikusan polarizált villamos erőteret hoz létre (9. ábra). Ez azt jelenti, hogy a térerősség effektív értékének megfelelő  $E(t)$  fázor az időben forog, a nagysága úgy változik, hogy a végpontja ellipszist ír le. A legnagyobb, ill. legkisebb térerősség az ellipszis nagy-, ill. kistengelyének irányában alakul ki. A térerősség az időben és az egyes térbeli irányokban is szinuszosan változik.



9. ábra • Háromfázisú távvezeték elliptikusan polarizált villamos erőtere

A távvezeték  $E$  terének jellemzésére a föld felszínén (amerikai gyakorlat) vagy a föld felett 1,5–1,8 m magasságban (európai gyakorlat) mérhető értékeket adják meg a vezeték nyomvonalára merőleges távolság függvényében. Ilyen térerősségprofil mutat be – három tipikus feszültségszintre – a 10. ábra. Látható, hogy a legnagyobb térerősség kissé a szélső fázisok vetületén kívül jön létre.

A térerősség nagyságát – a feszültség nagyságán kívül – befolyásoló körülmények:



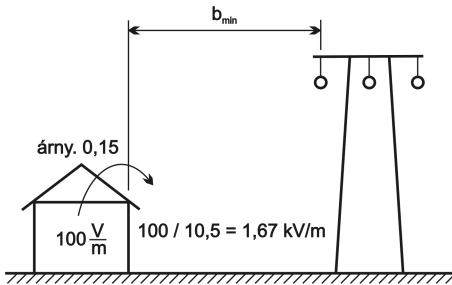
10. ábra • Különböző feszültségű távvezetékek jellemző villamos térerősség értékei a nyomvonalra merőleges irányban, 1,8 m magasságban

- a vezetők föld feletti magassága, amit a hőmérséklettől függő belógás lényegesen befolyásol;
- a fázisvezetők és az esetleges védővezetők geometriai elrendezése;
- többrendszerű távvezeték esetén a fáziskiosztás;
- a fázisvezetőknek a középvonallal viszonyított oldalirányú távolsága. Az oldalirányú távolság csökkentésével jelentősen csökkenthető a térerősség;
- magas objektumok (fasor, kerítés stb.), amelyek árnyékoló hatása jelentősen csökkentheti a térerősséget.

Az árnyékoló hatáshoz kapcsolódóan megjegyzendő, hogy az épületek árnyékoló hatása az épületen belüli villamos teret 10-15 %-ra csökkenti.

A lakosságot leginkább az a kérdés foglalkoztatja, hogy mekkora az a nagyfeszültségű távvezetektől mért minimális távolság, amelyen kívül a közeli épületben a villamos tér biztosan nem jár egészségi kockázattal. Ennek a  $b_{\min}$  minimális távolság meghatározásának elvét a 11. ábra szemlélteti. Ez abból indul ki, hogy a lakáson belül a villamos tér – 0,15-ös árnyékoló tényező figyelembevételével – ne legyen nagyobb a használt villamos eszközöktől származó átlagosan 100 V/m térerősségnél.

E feltételből – az épületen kívülre adódó megengedett 670 V/m térerősség



**11. ábra** • Távvezeték és lakás közötti megengedett minimális megközelítési távolság

alapján – adódó minimális távolságok a Magyarországon használt feszültségszintekre az alábbiak:

|               |     |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| $U_n$ [kV]    | 120 | 220 | 400 | 750 |
| $b_{min}$ [m] | 5   | 10  | 20  | 40  |

A minimális távolság meglehetősen kicsire adódott annak ellenére, hogy a lakásokon belül megengedett 100 V/m csak töredéke a lakossági körre ajánlott 5000 V/m térerősségnek. Ennek tulajdonítható, hogy számos sűrűn lakott országban – pl. Hollandiában – közvetlenül a távvezeték alá is építenek lakóházat.

## 5.2 Mágneses erőterek

### a) Sztatikus mágneses erőter

A természeti sztatikus mágneses tér a Föld magjának felső rétegében folyó áram és a naptevékenység valamint a légköri hatások által létrehozott erőter eredője. A Föld felszínén a függőleges összetevő maximális a mágneses pólusoknál, és itt a nagysága eléri a 67 mT-t, míg a mágneses egyenlítőnél nulla. A vízszintes összetevő maximális a mágneses egyenlítőnél, ahol kb. 33 mT az értéke, minimális a mágneses pólusoknál. A földmágneses erőter a naptevékenység és a helyi mágneses rendellenességek miatt időben és térben változik.

A mesterséges egyenáramú erőter a háztartási és irodai környezetekben főleg

a telepes berendezésektől származik, ennek nagysága azonban csak töredéke a természetes mágneses háttérnek.

A nagyfeszültségű egyenáramú vezetékek is csak csekély – néhányszor 10 mT – mágneses teret okoznak.

Az egyenáramú villamos vontatás során létrejövő mágneses indukció a városi – tipikusan 500 V-os – táplálás esetén 80 mT alatt marad, míg az egyenáramú villamos nagyvasút indukciója elérheti a 2 mT értéket. A mágneses lebegtetésű vasút indukciója igen nagy, a sínek közelében 1 T körüli, a vonaton belüli szórt fluxus nagysága azonban már csak 10 mT és 10 mT között van.

A sztatikus mágneses indukcióra alapvető korlátként megadott 40 mT-t meghaladó értékek csak kivételesen, az igen nagy (50–100 kA) egyenáramot felhasználó ipari technológiával dolgozó berendezéseket tápláló áramvezető-sínek környezetében lépnek fel, pl. timföld- vagy klórelektrolizáló üzemekben.

### b) Kisfrekvenciás (ELF) mágneses erőter

A természeti eredetű kisfrekvenciás mágneses tér a naptevékenységgel hozható kapcsolatba, amelyben 11 éves és 27 napos periódusú szisztematikus változás figyelhető meg. Lényegében a sztatikus mágneses térben bekövetkező változásokat kifejező, igen kis amplitúdójú összetevőkről van szó:

- 0,04–0,08 A/m amplitúdójú, 0,002–0,1 Hz frekvenciájú erőter;
- 5 Hz frekvenciáig terjedő földmágneses pulzálás, amely időben néhány perctől néhány óráig tartó erőter;
- frekvenciával csökkenő amplitúdójú erőter, amely 5–7 Hz-nél  $8,10^{-6}$  A/m, 3 kHz-nél  $8,10^{-9}$  A/m,
- az 50, ill. 60 Hz hálózati frekvenciájú tartományban fellépő, természeti eredetű háttér mágneses térerősség, megközelítőleg  $10^{-6}$  mT.

Az utolsóként említett érték különösen jól mutatja, hogy a természeti eredetű mágneses erőknek – a villámáram gyorsan változó és ezért nem az *ELF* sávba eső erőtere kivételével – rendkívül kicsi az amplitúdójuk.

A mesterséges *ELF* mágneses erőter lényegében a villamos hálózatokon és a hálózatról táplált villamos berendezésekben folyó *áramtól* származik. A mágneses térerősség arányosan nő az azt létrehozó áram nagyságával. Az erőter kiterjedése a „gerjesztő” vezetőrendszer geometriai kiterjedésétől és elrendezésétől függ.

Ebből a szempontból a mágneses erőternek a létrehozó rendszertől való *r* távolság függvényében való változásában három jellegzetes eset adódik:

- Egyetlen vezető (vagy vezetőcsoport), amelynek visszavezetése a kérdéses *r* távolsághoz képest távol van, környezetében az erőter  $1/r$  szerint változik. Tipikusan ilyen a földvisszavezetéssel záródó vezeték–föld hurok.

- Olyan vezetőcsoport környezetében, amelyek vezetőáramainak fázorok összege nulla, azaz az áramok teljes egészében a vezetők által képezett hurokrendszeren belül záródnak, az erőtercsökkenés jellege, a vezetők közti távolsághoz képest nagy *r* távolságban  $1/r^2$  szerinti. Tipikusan ilyen a háromfázisú vezetékek szimmetrikus (pozitív sorrendű) áramrendszerének erőtere.

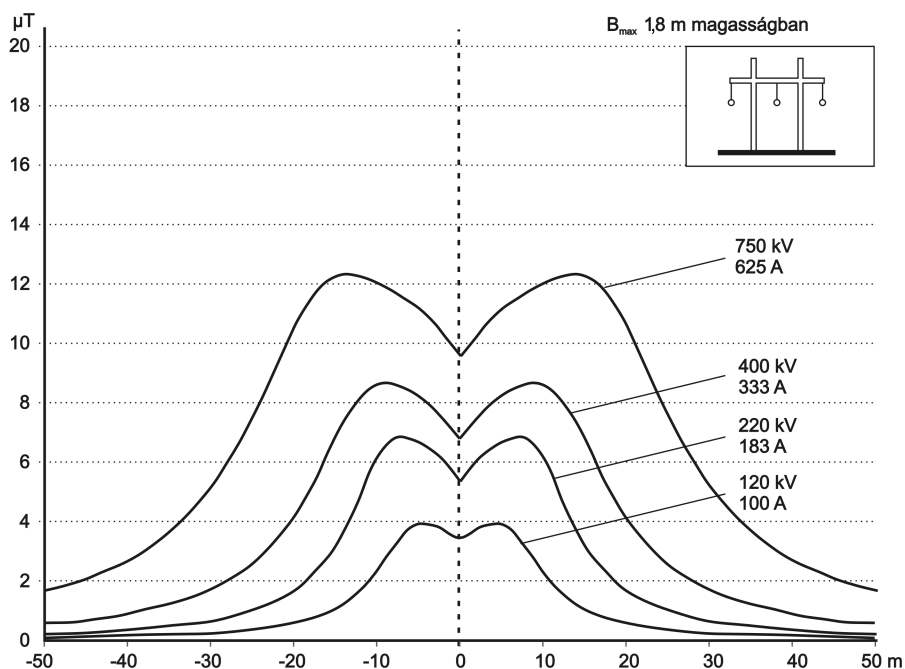
- Koncentrált eszközöktől, azaz olyan pontszerű forrásból származó erőter, amelynél az eszköz mérete a vizsgált *r* távolsághoz képest kicsi, a csökkenés  $1/r^3$  szerinti. Ilyen a villamoshálózati berendezések (pl. a transzformátorok) vagy a fogyasztói berendezések (pl. a háztartási és irodai készülékek) erőtere.

Abból a két körülményből, hogy a mágneses erőter az árammal nő és a távolsággal csökken, következik az, hogy a nagyobb mágneses erőterű környezeteket nem a

nagyfeszültségű, hanem sokkal inkább a kisebb feszültségű létesítmények közelében kell keresni. Ezt jól érzékelteti pl. az, hogy a gyakorlatban használt legnagyobb teljesítményű (1,6 MVA) *kisfeszültségű* transzformátor nagy névleges áramát (2300 A) vivő, mennyezetre szerelt gyűjtőszíntől 1–1,5 méterre kialakuló térben már emberek tartózkodhatnak és villamos készülékek üzemelhetnek. Egy nagyfeszültségű, 400 kV-os távvezeték szokásos legnagyobb átvitt teljesítménye 600 MVA körüli, amelyhez a fenti áram kb. 1/3-a (800 A) tartozik. Másrészről egy 400 kV-os távvezeték vezetőinek minimális megközelítési távolsága 10 m körüli, azaz a fenti távolság kb. 10-szerese. Mivel a lakosság körében a legtöbb aggály a nagyfeszültségű szabadvezetékek terével kapcsolatosan vetődik fel, a gyakorlatban fellépő mágneses erők értékeit ezzel kezdjük.

A *háromfázisú szabadvezetékek* szimmetrikus áramrendszere – a villamos erőterhez hasonlóan – elliptikusan polarizált mágneses erőteret hoz létre (**9. ábra**), azzal a különbséggel, hogy ez a jelleg a földben is folytatódik. Különböző feszültségű távvezetékek jellegzetes teljesítményéhez tartozó áramokra vonatkozó, 1,8 m magasságban kialakuló mágneses indukció nagyságát a vezeték nyomvonalára merőleges irányban mért távolság függvényében a **12. ábra** szemlélteti.

A szabadvezetékek által létrehozott mágneses erőter nagyságát – az áram nagyságán túl – a villamos térrel kapcsolatosan felsorolt jellemzők befolyásolják, kivéve az utolsó pontként említett árnyékoló hatásokat, amelyek a mágneses erőter esetén nem érvényesülnek. A szabadvezetékek közvetlen környezetében, 1,8 m magasságban létrejövő legnagyobb mágneses indukció értéke a 10–50 mT határok közé esik, ami biztonsággal kisebb a lakosságra, 24 órás behatási időre még megengedett 100 mT-nál.



12. ábra • Különböző feszültségű szabadvezetékek mágneses indukciója, 1,8 m magasságban, a vezeték nyomvonalára merőleges irányban mért távolság függvényében

A villamos vasúti felsővezeték rendszer által, 1,8 m magasságban létrehozott mágneses indukció kb. 10 mT nagyságú 100 A vontatási áramra vonatkoztatva. Többvontatás üzemen kialakuló maximális eredő felsővezeték áram – hazai viszonyok között ez 700 A – hatására kialakuló mágneses tér megközelítheti a javasolt határértéket.

Kiemelten fontos kérdés a köz- és kommunális épületekben levő transzformátorok és *kisfeszültségű elosztók* közötti csatlakozó sínezés által létrehozott mágneses tér. A tapasztalat szerint az ezekkel szomszédos, ill. ezek feletti helyiségekben jelentős mágneses tér jöhet létre. Az 1 és 1,6 MVA teljesítményű transzformátorok sínezése és elosztója 100 mT-t megközelítő teret is okozhat. Ez még mindig belül van az egészségi határértéken, azonban védelmi intézkedéseket tesz szükségessé, kü-

lönösen akkor, ha az érintett helyiségekben információtechnológiai berendezések és ezzel együtt az 1 mT-ra már érzékeny monitorok is vannak. Hangsúlyozni kell, hogy – az acéllemez edényben lévő olajhűtésű – transzformátorok által okozott mágneses erőter elhanyagolhatóan kicsi a kisfeszültségű oldali csatlakozó vezetékrendszer erőteréhez képest. Ennek megfelelően egy kisfeszültségű transzformátor-elosztó rendszer környezetében kialakuló mágneses erőter csökkentése a transzformátor és a kisfeszültségű elosztó közötti vezetékrendszernek és magának az elosztónak a megfelelő kialakításával érhető el.

A lakosság túlnyomó többsége az idő legnagyobb részében a *lakó és háztartási környezetben* létrejövő mágneses térnek van kitéve. A 6. táblázat megadja a mágneses indukció értékhatárait néhány gyakran használt villamos háztartási eszközre a

| A készülék megnevezése | indukciótartomány különböző ávságokban [mT] |           |           |
|------------------------|---------------------------------------------|-----------|-----------|
|                        | 3 cm                                        | 30 cm     | 100 cm    |
| hűtőszekrény           | 0,5-1,7                                     | 0,01-0,25 | < 0,01    |
| mosógép                | 8-50                                        | 0,15-3    | 0,01-0,15 |
| mikrohullámú sütő      | 73-200                                      | 4-8       | 0,25-0,5  |
| porszívó               | 200-800                                     | 2-20      | 0,13-2    |
| hajszárító             | 8-2000                                      | 0,01-7    | 0,01-0,3  |
| villanyborotva         | 15-1500                                     | 0,08-9    | 0,01-0,3  |

**6. táblázat.** Néhány jellegzetes villamos háztartási berendezés környezetében létrejövő hálózati frekvenciás mágneses indukció értékhatárai (UNEP/WHO/IRPA, 1987)

felszín közvetlen közelében (3 cm-re) és nagyobb távolságokra (30 és 100 cm-re). Megállapítható, hogy a berendezések közvetlen közelében az indukció nagyságrendje 0,1 mT-től egészen 1000 mT-ig terjed. Az erőter – a készülék jellegétől függő mértékben – a közvetlen közeli környezetre korlátozódik, és a készüléktől 1m-nél nagyobb távolságban az indukció már csak századrésze a készülékközei értéknek.

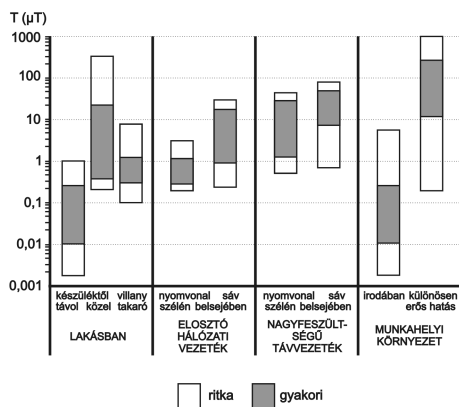
A hálózati frekvenciás mágneses erőter fentiekben tárgyalt jellegzetes forrásairól és az általuk létrehozott indukció nagyságának tartományairól a **13. ábra** ad szemléletes összehasonlítást. Az ábra jól érzékelteti azt, hogy az elosztó hálózati és a nagyfeszültségű távvezetékek környezetében létrejövő, a lakosság által általában aggályosnak tartott mágneses indukció tartománya egyáltalán nem nagyobb, mint amekkora a háztartási készülékek közelében kialakul.

**6. Az elektromágneses összeférhetőség szempontjai**

Az ELF erőterek hatását nemcsak élettani, ill. egészségi szempontból kell vizsgálni, hanem a villamos és elektronikus berendezésekre okozott zavarás, ill. az azokkal való elektromágneses összeférhetőség (electromagnetic compatibility, EMC) szempontjából is. Az EMC valamely berendezésnek vagy rendszernek az a képessége, hogy

elektromágneses környezetében kielégítően működik (megfelelő zavartűrése van) anélkül, hogy környezetében elviselhetetlen elektromágneses zavarást idézne elő. EMC szempontból lényeges különbség van a villamos és a mágneses erőter között.

A **villamos erőterrel** szemben árnyékolással nagyon könnyű védekezni. Lényegében bármilyen vékony fém fóliaborítás teljes védelmet tud adni akkor, ha legalább egy ponton földelt. Ennek megfelelően villamos erőterrel szembeni zavartűrésre nincs előírásokban megfogalmazott (szabványosított) követelmény.



**13. ábra** • A hálózati frekvenciás mágneses erőter jellegzetes forrásai által létrehozott indukció összehasonlítása

A *mágneses erőter* esetében a helyzet fordított, azaz hatásosan árnyékolni csak kis méretű, ferromágneses anyaggal teljesen tokozható készülékeket lehet. Kiterjedt térségek (irodák, lakások) árnyékolási lehetősége korlátozott és rendkívül drága, a hatásos árnyékolás elsősorban a zavarforrás oldalán, azaz a villamosenergia hálózat sínezésének vagy kábelezésének EMC szempontból is megfelelő tervezésével és létesítésével lehetséges.

A nagy felbontású monitorokat már 1 A/m térerősségű mágneses tér is zavarhatja, 3 A/m erőter pedig már szemmel láthatóan a torzítja a képet.

Az EMC biztosítása – különösen a kis zavartűrési szintbe sorolt érzékeny berendezések környezetében – egyben garantálja az egészségi határértékek betartását is.

### 7. A WHO álláspontja az ELF erőkterek egészségi hatásáról

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 1996-ban elindította a Nemzetközi Elektromágneses Terek (EMF) Projektjét, hogy ennek keretében foglalkozzon az EMF behatásával kapcsolatos egészségi kérdésekkel. Az EMF csoport fő célja, hogy a világon ezen a területen folyó kutatások eredményeit összegyűjtse, feldolgozza és tényfeltáró lapon közreadja. Az ELF erőkterek hatásával kapcsolatosan a WHO három közleményt adott ki. Az első, az *Elektromágneses terek és a közegészség: extrém kisfrekvencia (ELF)* című, 205. sz. tényfeltáró lap kiadására 1998 novemberében került sor. Ebben a villamos erőterre vonatkozóan az a megállapítás olvasható, hogy 20 kV/m térerősség alatt – a töltőáram kisülésével járó hatástól eltekintve – az egészségi hatás jelentéktelen és ártalmatlan. A mágneses erőter hatását a „*lehetséges emberi rákkeltő*” kategóriába sorolta, azzal a megjegyzéssel, hogy ebben a kérdésben további kutatások szükségesek.

2001 júniusában egy szakértői munkacsoport áttekintette a sztatikus és ELF elektromos és mágneses terek rákkeltő hatására vonatkozó vizsgálatokat, és a megállapításait a WHO 263. sz. 2001. októberi tényfeltáró lapjában adta közre. E szerint a szabványos IARC besorolást alkalmazva, amely súlyozza az emberre, az állatokra vonatkozó és a laboratóriumi bizonyítékokat, az ELF mágneses erőter a gyermekkori leukémia epidemiológiai vizsgálataira alapozva, a „*lehetséges emberi rákkeltő*” (2B) besorolást kapta. Minden más felnőtt- és gyermekkori rákra vonatkozó bizonyítékot „*nem besorolható*”-nak határoztak meg a nem megfelelő vagy ellentmondó tudományos információk miatt.

A mégoly csekély egészségi kockázatok ellenére egyes országokban a megvalósíthatóság szempontjából irreálisan kicsi (1  $\mu$ T körüli) határértékek – csak politikai érvekkel indokolható – bevezetését kezdték fontolgatni.

A WHO EMF Projektje segíteni kívánja a nemzeti hatóságokat az esetleges védelmi intézkedések bevezetésében és olyan határértékek megállapításában, amelyek megfelelő – lehetőleg kockázatanalízisre támaszkodó – egyensúlyt teremtenek a villamos technológia hasznai és lehetséges egészségi kockázatai között. Különösen bonyolult az ELF erőkterekre védőintézkedéseket javasolni, mert nem tudjuk, hogy az erőter mely jellemzőjét kellene csökkenteni, vagyis melyik lehet felelős – ha egyáltalán – a kockázatként megjelölt gyermekkori leukémia kialakulásáért. Az egyik megközelítés olyan önkéntes eljárások bevezetése, amelyek az ELF terek expozíciójának költséghatékony csökkentését célozzák. Ezt tárgyalja a WHO 2000 márciusában kiadott háttéranyaga. Az ebben kifejtettek azonban további bizonytalanságot okoztak, amivel kapcsolatosan 2002. február 5-én megjelent az *Óvatossági intézkedések*:

*értelmezés* című kiadvány. Ez kimondja az óvatossági elv, intézkedés, megközelítés fogalmak definiálásának szükségességét, és a *WHO Környezet Egészségi Feltételek* című monográfiának a sztatikus és az ELF terekre vonatkozó kiegészítését. A WHO az ELF expozíció közegészségi – esetleg káros –

hatására vonatkozó értékelését jó esetben 2003 végére készítheti el.

Kulcsszavak: *elektromágneses erőkterek, egészségi hatások, elektromágneses összeférhetőség, EMC, indukált testáramok, határértékek*

#### IRODALOM

- [1] European Commission DG. V. (1996) Public health and safety at work, Non-ionizing radiation, Sources, exposure and health effects; Brussels
- [2] ICNIRP (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz), Health Physics **74**, 494–521
- [3] COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC) Official Journal of the EU 30. 07. 1999
- [4] IEC Publication (1984) Effects of currents passing through the human body 479-1

