Eötvös Lóránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar

Környezettudományi Centrum

RÁDIÓFREKVENCIÁS ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁSOK KÖRNYEZETÜNKBEN

SZAKDOLGOZAT

Készítette:

KOVANECZ GERGŐ
KÖRNYEZETTAN ALAPSZAKOS HALLGATÓ

Témavezető:
CSANÁD MÁTÉ
Egyetemi adjunktus

Budapest
2014

Tartalom

I.RÉSZ: Bevezetés 3

I.1. Problémafelvetés 3

I.2. Célkitűzés 3

II.RÉSZ: Szakirodalmi ismertető 4

II.1. Fizikai háttér 4

II.1.1 Az elektromágnesség alapjai 4

II.1.2. Az elektromágneses hullámok 13

II.1.3 Az elektromágneses spektrum 17

II.2. Az elektromágneses sugárzás környezettani vonatkozásai 19

II.2.1 Élettani hatások 19

II.2.2 Jogi szabályozás, sugárvédelem 23

III.RÉSZ: Önálló mérések leírása 27

III.1 Mérés célja és módszertana 27

III.2. Területi eloszlás 28

III.3. Időbeli eloszlás 33

IV.RÉSZ: Összefoglalás 34

Köszönetnyilvánítás 35

Irodalomjegyzék 35

I.RÉSZ: Bevezetés

I.1. Problémafelvetés

Szakdolgozatom nagyon aktuális és új keletű témakört, problémakört dolgoz fel. A rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzások jelenlétükkel az utóbbi 20 évben határozzák meg nagymértékben mindennapi életünket. Úton-útfélen kikerülhetetlenül találkozunk az ezeket a sugárzásokat kibocsátó, használó készülékekkel, technológiákkal. Ilyenek például a rádió- és TV adótornyok, radarok, navigációs rendszerek, mobiltelefon készülékek- és bázisállomásaik. Ezen technológiák, készülékek jelenlétének, széles körben való elterjedésének köszönhetően, az általuk kibocsátott rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzások környezettani, egészségügyi vizsgálata ma már elengedhetetlen feladat. Így ezen sugárzások folyamatos vizsgálatának igénye manapság rendkívül nagy lett a környezetfizikával, népegészségüggyel foglalkozók körében. A tudományos körökön kívül azonban a társadalom széles rétegeiben is nagy érdeklődéssel figyelik az ezzel kapcsolatos legújabb kutatásokat, eredményeket.

II.2. Célkitűzés

Szakdolgozatomban a környezetünkben jelenlévő rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzásokat, tulajdonságaikat, viselkedésüket szeretném bemutatni. Ennek megértéséhez dolgozatom elején ismertetem az elektrosztatika, mágnesség, elektromágnesség alapvető törvényeit, összefüggéseit, mert ezek nélkül az elektromágneses sugárzások fizikája nem érthető meg. A középső részben ezen sugárzások környezeti hatásait tárgyalom, a dolgozatom végén pedig az ELTE lágymányosi kampuszán végzett önálló mérési munkámat, annak módszertanát, feldolgozását, kiértékelését szeretném ismertetni, amivel gyakorlatias megközelítésből szeretném bemutatni a rádiófrekvenciás sugárzások problémakörét.

II.RÉSZ: Szakirodalmi ismertető

II.1. Fizikai háttér

II.1.1 Az elektromágnesség alapjai

Rengeteg, a mindennapi életünkben munkára, szórakozásra használt eszköz, gép működik a mágnesek, árammal átjárt vezetők, tekercsek egymásra hatása alapján, illetve elektromágneses terekkel való kommunikációval. Ezen kellékekről, jelenségekről gyakran ugyan nincs is tudomásunk, ám nem is gondolnánk, milyen fontos szerepet töltenek be mindennapi kényelmünk biztosításában.

A Föld, amelyen élünk, maga is tulajdonképpen egy hatalmas mágnes, pontosabban mágneses dipólus, melynek mágneses északi pólusa a földrajzi Déli-sark, mágneses déli pólusa pedig a földrajzi Északi-sark közelében található. A földrajzi koordináták meghatározásában, tájékozódásban használt mindennapos eszköz, az iránytű, amelyre hatást fejtenek ki a Föld mágneses pólusai, ezen fizikai tény nélkül nem létezne. Ma már azt is tudjuk, hogy a Föld mágneses pólusai néhány madárfajnak, illetve halfajnak, teknősfajnak is nélkülözhetetlen segítséget nyújtanak abban, hogy költőhelyeiket akár több ezer kilométer távolságról is megtalálják. (Gulyás J. et al. 2006)

A Föld mágneses pólusainak, pontosabban az ezekből származó Földet körülvevő mágneses térnek kiemelt jelentősége a Napból érkező, napszélként ismert, nagyenergiájú elektronokat és protonokat tartalmazó részecskeáramlás kivédése, annak akadályozása, hogy ezen áramlás a Földre jusson.

Ezen természetben lejátszódó folyamatok, jelenségek, a természetes, illetve mesterséges elektromágneses sugárzások, valamint az előbb említett gépek, eszközök működésének megismeréséhez, megértéséhez meg kell, hogy ismerkedjünk az elektrosztatika, mágnesség, illetve elektromágnesség alapvető törvényeivel, összefüggéseivel.

(Gulyás J. et al. 2006)

Az elektromos töltés, elektromos erő, térerősség

Az elektrosztatika alapvető jelenségét már az ókori görögök is ismerték. Kísérletekkel megfigyelték, hogy a szőrmével dörzsölt borostyán rudak (görögül elektron) taszítják egymást, míg a szőrmét vonzzák. Eszerint a testek elektromos állapotát valamilyen olyan anyag okozza, amely közvetlenül nem érzékelhető. Ezt az anyagot *elektromos töltésnek* nevezzük. Kétféle elektromos állapot, töltés létezik: pozitív és negatív. A *töltésmegmaradás törvénye* szerint az elektromos töltések összege zárt rendszerben mindig megmarad. Mindkét töltést az atom hordozza. A *pozitív töltés* a 10^{-15} m átmérőjű *atommagban protonok* formájában (az atom neutronokat is tartalmaz, de ezt itt nem tárgyaljuk) a *negatív* töltés pedig a 10^{-10} m átmérőjű atom *elektronfelhőjében* elektronok formájában van jelen. Az atom semlegessége az azonos számú protonnal és elektronnal magyarázható. Az anyagok viselkedése javarészt az elektromos kölcsönhatásnak tulajdonítható. A hőtan főbb törvényei (például a molekulák ütközésekor fellépő kölcsönhatáskor) a biokémia és mechanika (például súrlódás esetében) mögött is az atomok, molekulák elektronszerkezete áll.

Két, egymástól valamilyen r távolságra lévő töltés (Q_1,Q_2) között elektrosztatikai erő lép föl, amely a Newton-féle erőtörvényhez hasonlóan a *Coulomb-törvény* szerint a következőképpen néz ki:

$$F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2} \qquad (1)$$

ahol $k=9\cdot10^9$ Nm^2/C^2 a Coulomb-állandó. Az erő iránya a két töltést összekötő szakasszal párhuzamos. Vonzó hatás lép fel, ha a töltések különböző, taszító hatás érvényesül, ha töltések azonos előjelűek. Leolvasható tehát, hogy az erő nagysága a két töltés nagyságával egyenesen, a köztük lévő távolság négyzetével pedig fordítottan arányos. (Csanád M. 2014)

„Bármely elektromos töltés maga körül elektromos mezőt hoz létre”. (Gulyás J. et al. 2006) Ez a mező *térerősséggel* jellemezhető, amely a mező adott pontjába helyezett Q töltésre ható erőt jelenti.

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{Q} \qquad (2)$$

A mezőben elhelyezett töltések egymásra az általuk keltett elektrosztatikus mezőik/tereik által hatnak. A térerősség ennek irányába mutató elektromos erővonalakkal szemléltethető, más szóval ezeknek adott pontbeli érintőjük a térerősség.

Ezen erővonalak mindig pozitív töltésből indulnak ki, és a negatív töltés felé mutatnak. (Csanád M. 2014; Baranyi L. 1992)

Fluxus és Gauss-törvény

Beszélhetünk az egységnyi felületre jutó erővonalak sűrűségéről. Ezt *elektromos fluxusnak* nevezzük, melynek értéke síkfelület és konstans térerősség esetén:

$$\phi=\vec{E}\vec{A} \tag{3}$$

tetszőleges felület és térerősség esetén pedig:

$$\phi=\int \vec{E}\,\overrightarrow{dA} \tag{4}$$

ahol $\vec{A}$ a felületre merőleges, vele egyenlő nagyságú vektor. Olyan zárt felület esetén, amelyen belül nincs töltés, a fluxus 0.

Egy Q töltés körül kialakuló tér erőssége a forrástól számított r távolságban a következő: $E=kQ/r^2$. Ezt behelyettesítve a fluxus képletébe, azt láthatjuk, hogy a távolságtól függetlenül bármilyen zárt felületre fennáll a $\phi=\frac{Q}{\epsilon_0}$ összefüggés, ahol ϵ_0 a *vákuum elektromos permittivitása,* ami (ϵ_0) $=8{,}854\times10^{-12}$, annak mértéke, hogy a vákuumos közeg mennyire áll ellen a rá ható elektromos térnek. Más közeg esetén az adott közegre jellemző *relatív permittivitás* (ϵ_r) felhasználásával az $\epsilon=\epsilon_r\cdot\epsilon_0$ összefüggés használandó. *Gauss-törvénye* tehát kimondja a következő összefüggést Q_{bent} töltést tartalmazó zárt felületre:

$$\phi_{\text{Zárt}}=\int_{zárt}\frac{Q_{bent}}{\epsilon_0} \tag{5}$$

Ez egyébként Maxwell első törvénye. A Gauss-törvényből néhány egyszerű gyakorlati következmény adódik: Elektromos térbe üreges vezetőt helyezve, a testen belül a térerősség mindenhol 0. Ezen elv alapján működik a *Faraday-kalitka*. Erre a legjobb hétköznapi példa a mikrohullámú sütő. A benne keletkező mikrohullámú elektromágneses sugárzás nem jut ki a környezetbe a leszigetelt ajtaja, fala miatt. A másik következmény a *csúcshatás.* Ez azt jelenti, hogy hegyes fémtárgyak esetében a csúcsokon nagyobb a töltéssűrűség, az éles csúcs kis gömbként viselkedik, a térerősség is nagyobb ezen helyen, ami $E=kQ/r^2$-el változik.

Ezen csúcshatás alapján működik a villámhárító is. A csúcs ionizálja a levegőmolekulákat, amelyek így képesek lesznek a csúcs felé elvezetni a feszültséget. (Csanád M. 2014)

Potenciál, feszültség és az elektromos áram

Előbb láttuk, hogy az elektromos mező erőt fejt ki a töltésre, ami elmozdulhat. Ekkor a mező munkát végez a töltésen. A *munka* nagysága konstans térerősség esetén

$$W=\int_a^b \vec{F}\,\vec{ds}= E\cdot Q\cdot s \qquad (6)$$

ahol s a töltés kiindulási és érkezési pontja közti távolság. Az elektromos erőtér konzervatív, tehát a mező munkája nem függ a pályától, csak a kezdő- és végpont helyzetétől. Ekkor a $W=V_a-V_b$ szerint minden ponthoz hozzárendelhető egy *potenciális energia (V),* ami a gravitációs térhez hasonlóan leírható. Egy h helyen lévő Q töltés potenciális energiája homogén elektromos térben: $V(h)=E\cdot Q\cdot h$, ahol csak a térerősség irányába történő elmozdulás számít. Értelmezhetjük az *elektromos potenciál (U)* fogalmát, ennek kiszámolására a $U=\frac{V}{Q}$ képletet használhatjuk. Mivel a potenciális energia arányos a töltéssel, az elektromos potenciál az adott mező tulajdonsága, független a mozgatott töltéstől. Két pont között az elektromos potenciálkülönbséget *feszültségnek* nevezzük. Ez utóbbinak, illetve az elektromos potenciálnak mértékegysége a Volt vagy J/C.

Az elektromos áram töltések egyirányú, rendezett mozgása (I), mely jelentése adott felületen egységnyi idő alatt átáramlott töltésmennyiséget jelenti: $I=\frac{Q}{t}$, mértékegysége, $\frac{C}{s}$ azaz Amper. Az *áramerősség* arányos az anyag két vége közötti feszültséggel, az arányossági tényező pedig az *ellenállás (R)*, melynek mértékegysége Ohm. A feszültség, áramerősség, valamint ellenállás közötti összefüggést *az Ohm-törvény* írja le: U= RI. Különböző anyagokra *fajlagos ellenállás* értékeket adhatunk meg, mely függ az anyag keresztmetszetétől (A), hosszától (L), valamint az ellenállástól (R). $\rho = RA/L$. Vezető fémek esetén $\rho= 10^{-8}$ Ωm, üveg és egyéb szigetelők (pl.: műanyag, porcelán) esetén $\rho= 10^{10-14}$ Ωm.

A vezető fémekkel ellentétben, bizonyos anyagoknak a fajlagos ellenállása a vezetők és a szigetelők közé esik közönséges hőfokon ($\rho= 10^{-9}$-10^{3} Ωcm), mely a hőmérséklet növekedésével exponenciálisan csökken. Ezek a félvezetők. Ilyen anyagok például a szilícium vagy germánium.

Ha U feszültség hatására I áram folyik, akkor az $Q = I\cdot t$ töltést mozgat át U feszültségen t idő alatt, ez pedig $W = U\cdot Q$ munkavégzésnek felel meg, ahogy erről (munka) már föntebb volt szó. Az áram leadott *teljesítménye* pedig:

$$P = U\cdot I = I^2\cdot R = U^2/R \qquad (7)$$

Áramkörök megvizsgálásakor azt le kell szögeznünk, hogy egy egybefüggő vezeték végig azonos feszültségen van, más szóval a vezeték ellenállása nulla. Az úgynevezett *Kirchhoff-törvényekkel* kiszámítható az áramkörök működése. Az első fontos következtetés, hogy egy csomópontban a ki-és befutó áramok összege nulla. A másik törvény, hogy egy zárt hurok mentén a feszültség változása nulla.
(Baranyi L. 1992)

Az állandó mágneses tér

Már ókori tapasztalat, hogy jó néhány anyagnak, bizonyos fémeknek valamilyen *mágneses tulajdonsága* van, amelyek között vonzás vagy taszítás lép föl, illetve képesek beállni a Föld mágneses pólusainak irányába.
Egyszerű kísérletek elvégzésével egy sor rendkívül egyszerű, ám annál fontosabb következtetésekre juthatunk. Minden mágnes *dipólusként* viselkedik, tehát jelen van rajta egy *északi és egy déli pólus*. A mágnes északi pólusa a Föld déli mágneses pólusának (Északi-sark), míg a déli pólusa a Föld északi mágneses pólusának (Déli-sark) irányába áll be. Mágneses monopólus nem létezik. Erről meg is bizonyosodhatunk, ha mindig egyre kisebb részre törünk egy mágnest. Nem tudjuk olyan kicsire eltörni, hogy a mágnes ne dipólusként funkcionáljon. Ha egyetlen déli szilánkot veszünk, még ennek is van északi és déli pólusa. Ennek oka, hogy a mágneses tulajdonságot az atomok hordozzák.
Az anyagok mágnesessége tehát atomi szintről ered. A mágnesességet az anyagot alkotó atomok spinje okozza, amit elképzelhetünk úgy is, mintha ezen atomok forognának. Minden spinnel rendelkező atom mágneses dipólusként képzelhető el. Ezek véletlenszerűen rendezettek, azonban mágnes/mágneses mező hatására egy irányba rendeződhetnek. Mágneses mező hiányában azonban ezen atomi dipólusok rendezettsége megszűnik. Ezek a *paramágneses anyagok*. Ilyen például az alumínium és a platina. Vannak azonban olyan anyagok, amelyekben az atomi dipólusok a mágneses mező megszűntével is szabályosan egy irányba rendeződve maradnak. Ezek pedig a *ferromágneses anyagok*. Ilyen például a vas és az acél. (Baranyi L. 1992)
Ha egy mágnesrudat egy cérnára függesztünk és felé különböző fémeket közelítünk (vas, alumínium, réz, acél) láthatjuk, hogy az ellentétes mágneses pólusok vonzzák, az azonosak pedig taszítják egymást. Továbbá láthatjuk azt is, hogy az acélt és a vasat mindkét mágneses pólus vonzza, az alumíniumot és rezet viszont nem. Nem mindegy az

sem, hogy a mágnesrúd melyik részéhez közelítjük az adott fémet. A mágnesek középső része egyáltalán vagy csak nagyon kicsit mutat mágneses tulajdonságot. Ez utóbbit csak a mágnesek pólusainál tapasztalhatjuk. (Gulyás J. et al. 2006)

Az egyik legfontosabb mágneses természeti jelenség megértése szempontjából a következőkben nézzük meg, mi történik mágneses térbe lépő töltéssel. Ennek a szakdolgozat elején már említett napszél kivédésében van nagy szerepe. Mágneses térbe lépő mozgó töltésre a *Lorentz-erő* hat, ami a következőképpen néz ki:

$$\vec{F} = Q\vec{v} \times \vec{B} \tag{8}$$

ahol Q a töltés nagysága, $\vec{v}$ a sebességvektora, $\vec{B}$ pedig az adott mágneses mezőre jellemző indukcióvektor. Mágneses mező erősségét *mágneses indukcióvektorral* $(\vec{B})$ szokás jellemezni, amely egy bármilyen kiválasztott ponton az ott áthaladó indukcióvonal érintője. Definiálhatjuk úgy is, mint az egységnyi áramelemre ható erő. Mértékegysége: $\frac{N}{Am}$ = Tesla.

Indukcióvonalak pedig a mágneses tér jelenlétét jelző képzeletbeli erővonalak, amelyek szemléltethetők mágnes fölé üveg-vagy plexilapra rászórt vasreszelékkel.

A képletből látszik, hogy egy keresztszorzatról van szó, tehát ez az erő akkor maximális, ha a töltés sebessége merőleges a mágneses térre. Az erő iránya pedig a jobbkéz-szabály szerint $(\vec{v}, \vec{B})$ síkra merőleges. Ezzel a törvénnyel magyarázható tehát az a jelenség, hogy a Földre érkező kozmikus töltött részecskék (napszél) csak Föld pólusainál jelennek meg, mivel a többi helyen a részecskék sebessége és a mágneses tér nem párhuzamos egymással, ami miatt a Föld mágneses tere eltéríti őket. Ezen töltött részecskék így a földi légkör tetejére érve a földi magnetoszféra hatására a pólusok felé kezdenek vándorolni, ott a levegő molekuláival (O_2; N_2) ütközve ionizálják azokat. Ezen molekulák gerjesztett állapotból különböző színű fénykisugárzás után térnek vissza alapállapotukba. Az O_2 vörös és zöld, míg a N_2 kékesibolya színnek megfelelő hullámhosszúságú fényt sugároz ki, amelyeket sarki fényként is ismerünk.

Közvetett módon a vezetékben mozgó töltéseken keresztül az áramjárta vezetőre is hat a mágneses erő. A Lorentz erőhöz hasonló összefüggést tudunk ebben az esetben is felírni:

$$\vec{F} = I\,\vec{l} \times \vec{B} \tag{9}$$

ahol I az áramerősség, $\vec{l}$ pedig a vezető hosszvektora. Ugyanazok a következtetések elmondhatóak ez esetben is, mint a mágneses mezőben mozgó töltésre ható erőtörvénynél. (Csanád M. 2014; Baranyi L. 1992)

Az elektromos mezőhöz hasonlóan itt is beszélhetünk fluxusról, méghozzá *mágneses fluxusról*, melynek értéke síkfelületre konstans térerősség esetén:

$$\phi_B = \vec{B}\vec{A} \tag{10}$$

tetszőleges felületre és mágneses térre pedig:

$$\phi_B = \int \vec{B}\,\overrightarrow{dA} \tag{11}$$

Zárt felületre pedig a *mágneses Gauss-törvény vonatkozik,* amely a követezőképpen néz ki:

$$\phi_{B;\ zárt} = 0 \tag{12}$$

mivel nincsenek mágneses monotöltések.

A mágneses tér forrásai

Egy mágnes körül mágneses mező alakul ki, amelyben erőhatásokat megfigyelhetjük mágnes fölé üveg-vagy plexilapra rászórt vasreszelékkel. A mágneses tér erővonalai, vagy indukcióvonalai mindig zárt görbék. Mint ahogy azt már korábban láttuk a mágneses tulajdonság atomi szintre vezethető vissza. Egy mágnesben valamilyen külső mágneses tér hatására (ez lehet a Földi mágneses tér is) az őt alkotó atomok képesek egy irányba rendeződni, és így a mágnes a mágneses tér irányába beállni. Mágneses mezőt kelthet elektromosan töltött részecske mozgása, az elektromos áram vagy elektromos mező megváltozása is. Ezekről részletesebben még lesz szó. A mágneses tér erővonalai, vagy indukcióvonalai mindig zárt görbék.

Az elektromosság és mágnesség közötti kapcsolatról sokáig nem volt tudomásuk a fizikusoknak. Egészen Hans Ørsted 1820-as legendás egyetemi előadásáig, amikor is teljesen véletlenül ismerte fel az elektromos és mágneses jelenségek közötti kapcsolatot. A dán professzor az elektromos áram platinavezetékre kifejtett melegítő hatását kívánta bemutatni diákjainak, ám véletlenül volt az asztalon egy iránytű is, ami az elektromos áram hatására elmozdult. Amikor kikapcsolta az áramot, az iránytű visszaállt az eredeti helyzetébe. Felismerte tehát, hogy az elektromos áram mágneses mezőt kelt.

(Gulyás J. et al. 2006)

Az elektromos áram keltette mágneses indukció ismertetése előtt, nézzük meg a *mozgó ponttöltés keltette mágneses mezőt*:

$$B = \frac{\mu_0\, q v}{4\pi r^2} \tag{13}$$

ahol v a ponttöltés sebessége, r pedig a töltéstől való távolság. Megfigyelhetjük a hasonlóságot a ponttöltés keltette elektromos térrel ($E=k\frac{Q}{r^2}$).

Egy fontos összefüggés szerint a mágneses indukció értéke egyenesen arányos a vezetékben folyó áram erősségével és fordítottan arányos a vezetőtől mért távolsággal: A pontos összefüggés:

$$B= \mu_0 \frac{I}{2\pi r} \tag{14}$$

amennyiben a mezőt vákuum tölti ki. I az áramerősség, μ_0 a vákuum mágneses permeabilitása ($\mu_0= 4\pi 10^{-7}$ Vs/Am). A *mágneses permeabilitás* egy adott anyagban megmutatja a mágneses indukció és mágneses térerősség arányát. Egyéb közeg esetén μ használandó ($\mu=\mu_r\mu_0$), ahol μ_r a közegre jellemző *relatív mágneses permeabilitás*. (Baranyi L. 1992)

Az indukció

Az elektromágneses hullámok sajátosságainak és tovaterjedésének megértése szempontjából kulcsfontosságú ismertetni az indukció jelenségét.

Ha egy vezetőt mágneses térben mozgatunk méghozzá úgy, hogy az metszi az indukcióvonalakat, a vezető 2 vége között potenciálkülönbség/feszültség lép föl, melynek hatására áramfolyást tapasztalunk. Ennek magyarázata, hogy a mágneses mező töltésszétválasztó hatását az elektrosztatikai mező F=QE erővel gátolja. Nyitott vezető esetében az elektromos és a mágneses erő azonos nagyságú, de ellenkező irányú. Ebben az esetben az indukált feszültség, amelyet a *Neumann-törvény* ír le:

$$U_{ind}= \int v \times B \, dl \tag{15}$$

ahol v a mozgatás sebessége, B a mágneses indukció, dl pedig a vezető hossza.

Ezt a jelenséget *mozgási elektromágneses indukciónak* nevezzük. (Litz J. 2005)

Ha mágnest mozgatunk egy tekercs belsejében, ugyanúgy feszültséget, illetve valamilyen erősségű áramot indukálhatunk szintén változó mágneses mező hatására. Ez a *nyugalmi mágneses indukció* jelensége. Az indukált feszültség értéke *a Faraday törvény* szerint:

$$U_{ind}= -NA\frac{d\,B}{dt} \tag{16}$$

ahol az *N* több áramhurok esetén a tekercs menetszámát, az *A* a tekercs keresztmetszetét, a $\frac{d\,B}{dt}$ hányados pedig a mágneses indukció időbeli deriváltját jelenti,

azaz, hogy adott idő alatt hogyan változik meg a mágneses indukció. Minél rövidebb idő alatt, minél nagyobb mértékben változik a mágneses tér, annál nagyobb feszültség indukálódik a tekercsben.

Mozgási és nyugalmi indukció esetében is fontos szerepe van az úgynevezett negatív visszacsatolásnak. A Lenz törvény kimondja, hogy „az indukált hatás ellentétes az őt létrehozó okkal. Tehát a mágneses tér változása feszültséget indukál, a feszültség áramot kelt, ami pedig mágneses teret hoz létre, és ez a létrejövő mágneses tér gyengíti az eredeti mágneses teret.” (Csanád M. 2014)

Maxwell-egyenletek

Az elektromosság és mágnesesség legfontosabb törvényeit a *Maxwell-egyenletek* foglalják össze. Ezek az előzőekben már tárgyalt törvényekből (5); (12); (16) állnak össze. Az első *az elektromos Gauss-törvény* zárt felületre, amit már a Fluxus és Gauss-törvény című részben láttunk:

$$\phi_E = \oint EdA = \frac{Q}{\epsilon} \tag{17}$$

Azt mondja meg nekünk, hogy egy mezőben adott zárt felületen áthaladó elektromos erővonalak száma ($\phi_E = \oint EdA$) az ott jelenlévő töltések nagyságától (Q) és a közeg elektromos permittivitásától függ (ϵ_0), előbbitől egyenesen, az utóbbitól fordítottan arányosan.

A második egyenlet a *mágneses Gauss-törvény* zárt felületre:

$$\phi_B = \oint BdA = 0 \tag{18}$$

Eszerint a mágneses fluxus (ϕ_B) minden zárt felületre 0, mivel nincsenek mágneses monotöltések. A harmadik egyenlet *a Faraday-féle indukciós törvény* zárt hurokra:

$$U_E = \oint Edl = -\frac{d\phi_B}{dt} \tag{19}$$

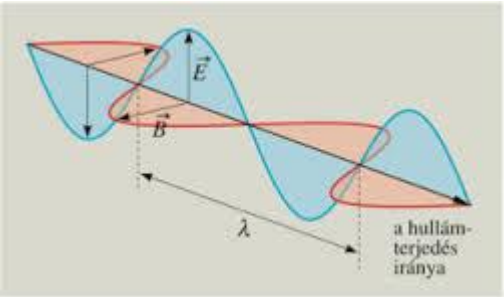
amelyről a korábbiakban már volt szó többmenetes tekercsre nézve. A negyedik Maxwell-egyenlet az *Ampére-törvény* eltolási árammal szintén zárt hurokra:

$$U_B = \oint Bdl = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \int \frac{dE}{dt}\, dA. \tag{20}$$

A törvény leírja, hogy mekkora mágneses tér indukálódik zárt hurokban az elektromos tér adott felületen való megváltozásával, amihez hozzájön az elektromos áram által indukált mágneses tér is. (Csanád M. 2014)

II.1.2. Az elektromágneses hullámok

Mint az már az előbbiekben kiderült, a 19. század közepére már sok ismeretet szereztek az elektromos és mágneses mezőkről, azok előállításáról, tulajdonságairól, a kettő kapcsolatáról. 1865-ben Maxwell egy átfogó, összefoglaló elméletet dolgozott ki az elektromos és mágneses jelenségek értelmezésére. Ebben Maxwell fontos következtetésre jutott: nemcsak az időben változó mágneses mező hoz létre örvényes elektromos mezőt, hanem az időben változó elektromos mező is képes örvényes mágneses mezőt indukálni. Tehát az egyik mező periodikus változása létrehozza a másik mezőt, amely szintén periodikusan változó lesz, és ez így megy tovább. „Maxwell szerint ez az elektromos töltésről, áramról elszakadni képes, térben tovaterjedő elektromágneses mező (elektromágneses sugárzás) a transzverzális hullámok tulajdonságaival rendelkezik.” (Halász T. et al. 2008). Ez azt jelenti, hogy e mezők térben és időben periodikusan váltakoznak, méghozzá a Maxwell-egyenletek eredeti alakjából az is következik, hogy e terek 2 egymásra merőleges síkban terjednek a térben a *1. ábrán* látható módon:



1. ábra. Az elektromos és mágneses tér hullámként történő tovaterjedése (Halász T. et al 2008)

Az elektromágneses sugárzás hullám voltának megértéséhez véleményem szerint a következő levezetés elengedhetetlen. Töltések és áram hiányában (Q=0; I=0) a Maxwell-egyenleteket (17)-(20) felírhatjuk a következőképpen:

$$\oint EdA=0$$

$$\oint BdA=0$$

$$\oint Edl=-\int \frac{dB}{dt}\ \mathrm{dA}$$

$$\oint Bdl = \mu_0\epsilon_0 \int \frac{dE}{dt} dA$$

Két fogalom bevezetésével pedig átalakíthatjuk egyenleteinket az integrális formából differenciális formába. Első két egyenletünket átalakítva a *divergencia (div)* bevezetésével tudjuk felírni. *Vektor (E) divergenciája*, vagyis a forrássűrűség mértéke adott pontban, a pont körüli felület fluxusának és a felület által bezárt térfogatnak a hányadosa. A matematikai *Gauss-tétel* szerint egy E vektormezőre tehát: $\int E\, dA = \int divE\, dV$, ha a zárt A felület tartalmazza a V térfogatot. Másik két egyenletünket pedig a *rotáció (rot)* bevezetésével tudjuk felírni. *Vektor (E) rotációja*, vagyis az örvényesség mértéke adott pontban, a pont körüli görbe mentén vett integrálnak és a görbe által bezárt felületnek a hányadosa. A matematikai *Stokes-tétel* szerint egy E vektormezőre tehát: $\int Edl = \int rotE\, dA$, ha az l zárt görbe az A felületet fogja közre. Ezekkel az összefüggésekkel egyenleteink átírhatóak a következő formába $c^2=1/(\mu_0\varepsilon_0)$ konstans bevezetésével:

$$\mathrm{div}E = 0$$

$$\mathrm{div}B = 0$$

$$\mathrm{rot}E = -\dot{B}$$

$$\mathrm{rot}B = c^{-2}\, \dot{E}$$

Az egyenletek további egyszerűsítésével két hullámegyenlet alakú differenciál egyenletet kapunk:

$$\ddot{E} - c^2\, \Delta E'' = 0$$

$$\ddot{B} - c^2\, B'' = 0$$

Továbbá az is következik ebből, hogy a térerősség és a mágneses indukció két, egymásra merőleges síkban terjed, és ezen két sík merőleges a hullám terjedési irányára is.

A két vessző a tér szerinti kétszeres deriválást, míg a két pont az idő szerinti kétszeres deriválást jelenti. 3 dimenziós térben E" helyett valójában ΔE írandó, ami a térerősség 3 különböző komponensére vonatkoztatott kétszeres deriválások összege, ami a következő alakban felírható a $\Delta E = \frac{1}{c^2}\, \ddot{E}$ összefüggés alapján: $\Delta E_{x,\,y,\,z} = \frac{1}{c^2}\, \ddot{E}_{x,\,y,\,z}$.

Az egyenletek megoldása tehát valamilyen c sebességgel mozgó tetszőleges frekvenciával és hullámhosszal rendelkező hullám.

Az elektromágneses sugárzás, mint azt már a korábbiakban említettem, *energiát* is hordoz, melynek *intenzitása* (adott felületegységre eső sugárzás teljesítménye)

következő képlettel számolható ki: $I= \frac{P}{A} = \epsilon_0 c E^2/2 = \frac{1}{\mu_0} B^2/2$. Ez a sugárzás gömb szimmetrikusan terjed, tehát a gömb felszínéből számolva ($4\pi r^2$) az intenzitás a távolság négyzetének inverzével ($1/r^2$) változik, ahogy a sugárforrástól egyre messzebb megyünk.

Később kiderült, hogy az elektromágneses sugárzás energiája energiakvantumokban, úgynevezett *fotonokban* raktározódik. Egy foton energiája: $E= hf$, ahol a h Planck állandó értéke: $6{,}6 \times 10^{-34}\ m^2\ kg/s$. (Csanád M. 2014)

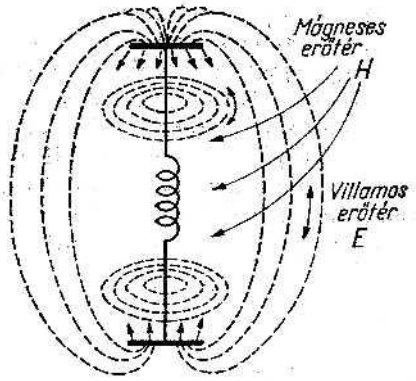
Itt fontosnak tartom ismertetni az elektrotechnikában mindennapos használati eszköznek, az úgynevezett rezgőkörnek a működését, mivel ezek a mesterséges elektromágneses sugárzás jelentős részének adó és vevőállomásaiként szolgálnak.

A rezgőkör valamilyen C kapacitású kondenzátort L induktivitású tekercset tartalmazó vezetőkört, áramkört jelent.

Az elektromosan feltöltött kondenzátor fémlemezei között homogén elektromos mező alakul ki. Kondenzátorok esetében a fémlemezek közötti elektromos mező valamilyen energiát hordoz, aminek nagysága a kondenzátor lemezei közötti feszültségtől (U), valamint a kapacitástól (C) függ a következő módon: $E_{el}= \frac{1}{2} CU^2$. A 0 időpillanatban az energia teljes mértékben a fémlemezek közötti elektrosztatikus térben van. Miután a kondenzátor teljesen feltöltődött, megindul annak kisülése, melynek során a fegyverzetek közötti elektrosztatikus tér energiája is csökken. Azonban az áramerősség a gyengülő feszültség mellett a periódusidő negyedéig folyamatosan nő, ami egyre erősödő mágneses mezőt eredményez. Így a $\frac{T}{4}$ időpillanatban a rezgőkör teljes energiamennyiségét mágneses mező formájában a tekercs tárolja. Ekkor a feszültség 0-ra csökken, az elektrosztatikus mező erőssége 0 lesz, így az áram is elkezd csökkenni, ami a mágneses mező változását idézi elő. A korábbiaknál láttuk, hogy a Faraday-féle indukciós törvény alapján ez utóbbi feszültséget indukál. Az indukált feszültség hatására az áram újra elkezd folyni a rendszerben, ami lassan feltölti a kondenzátort, ám az előzőhöz képest ellentétes polaritással és ez a folyamat ismétlődik tovább.

A rezgőkörben az elektromos és mágneses mező energiájának periodikus egymásba alakulását *elektromágneses rezgésnek* nevezzük. Mivel a rezgések amplitúdója (maximális kitérése) folyamatosan csökken az elektromos ellenállás, mágneses és dielektromos veszteségek miatt, így az elektromágneses rezgések csillapított rezgések. A zárt rezgőkör nyílt állásba tehető, aminek eredményeképp elektromágneses tér alakul ki körülötte, ami a térbe ki is sugárzódik (*2. ábra*). Így tehát egy távolabbi pontban is

érzékelhető az elektromos, illetve mágneses tér, pontosabban ezeknek periodikus rezgése, változása.
(Halász T. et al 2008; Öveges J. 1995)

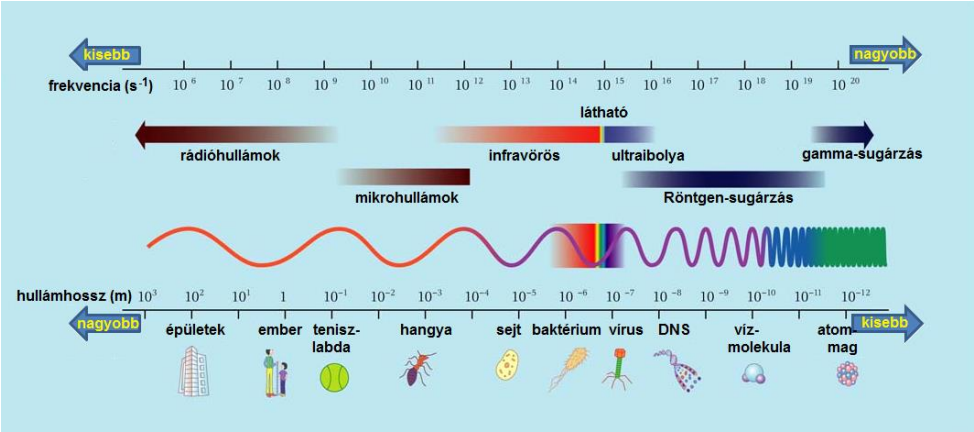


2. ábra. A nyílt rezgőkör körül kialakuló mágneses- és villamos erőtér (forrás: wikiham 2008)

Az elektromágneses hullámok létezését azonban nem Maxwell, hanem Hertz német fizikus bizonyította. Azt is kimutatta, hogy ezek a hullámok a mechanikus hullámok jellegzetességeivel rendelkeznek. Megfigyelhetőek tehát a klasszikus hullámtulajdonságok, mint a visszaverődés, megtörés, interferencia jelensége. Az elektromágneses sugárzás is jellemezhető *hullámhosszal* (λ), ami szinuszos hullám lévén a két csúcs közötti távolságot jelenti. Hullámok jellemezhetőek még *frekvenciával* (f), illetve *periódusidővel* (T), előbbi az egységnyi idő alatti regések számát, utóbbi pedig egy teljes rezgéshez szükséges időt mutatja meg. A hullámhossz és frekvencia közötti összefüggés: $\lambda=\frac{c}{f}$, ahol c a hullám sebességét jelenti. Számításokból az adódott, hogy az elektromágneses hullám vákuumbeli terjedési sebessége megegyezik a fény terjedési sebességével, azaz értéke 3×10^8 m/s. Ezek után feltételezni kezdték, hogy a fény is elektromágneses hullám. Az elektromágneses hullámokat a szigetelés átengedi, a fémfelületről azonban a *visszaverődési törvénynek* megfelelően visszaverődnek.
(Halász T. et al 2008)

II.1.3 Az elektromágneses spektrum

Különféle kutatások eredményeképp a 19. század végétől egyre több, mélyebb ismeret született az elektromágneses hullámokkal kapcsolatban. Bebizonyosodott, hogy ezeknek a hullámoknak többféle megjelenési formája létezik hullámhossz és frekvencia szerint. Az elektromágneses hullámoknak hullámhossz és frekvencia szerinti sorozatát teljes *elektromágneses spektrumnak* nevezzük, ami a *3. ábrán* alább látható:



3. ábra. Az elektromágneses spektrum (forrás: Oxford University Press LTD 2003)

Sugárzásról akkor van szó, amikor a sugárforrástól több hullámhossznyi távolságra vagyunk, ellenkező esetben elektromágneses térről beszélünk. Elektromágneses tér van értelmezve például *alacsonyfrekvenciás* hullámok esetében, amikor is a hullámhossz több kilométernél is nagyobb. Alacsonyfrekvenciás hullámokról 300 kHz frekvencia alatt, azaz 1km-es hullámhossz fölött beszélünk. Ezekről részletesebben a következő fejezetben olvashatunk.

3 Phz frekvencia környékén húzható egy válaszvonal, amely az ionizáló és nem ionizáló sugárzás körülbelüli határát jelöli. E határ nem éles, inkább folyamatos átmenetről van szó. A körülbelül 3 PHz-nél nagyobb frekvenciájú (λ<100nm) elektromágneses sugárzások fotonjai már rendelkeznek akkora energiával (30 eV), hogy elektronokat szakítsanak le az atomokról, illetve kémiai kötéseket bontsanak fel. Éppen ezért ezek környezettani, egészségügyi szempontból veszélyesebbek is a nem ionizáló sugárzásoknál. Ionizáló sugárzások a *röntgen- illetve gamma-sugárzás*. A röntgensugárzás gyors elektronok atomokkal való ütközésekor, vagy az atomon belül elektronhéjak közötti elektronátmenetek során szabadul föl. Általában orvosi célra, az élő szervezet átvilágítására használják.

Gamma-sugárzást gerjesztett atommagok bocsáthatnak ki. Hatalmas energiája, hatótávolsága és áthatolóképessége miatt daganatos sejtek elpusztítására, valamint fémek átvilágítására használják. A következőben hullámhossz szerint növekvő, frekvencia szerint csökkenő sorrendben veszem sorra a különböző elektromágneses tartományokat. A következő tartomány az *optikai tartomány*. Ennek részei az *ultraibolya*, a *látható fény tartománya,* valamint az *infravörös fény*. A sokak számára ismert, Napból jövő UV-sugárzás kisebb dózisban jótékony hatású lehet: D-vitamin képződést és a barnulást segíti. Ezeket jobbára a 300-400nm-ig terjedő UV-A sugárzásnak köszönhetjük. Nem feledkezhetünk meg azonban rendkívül káros hatásairól sem, úgy, mint bőr kiszáradása, ödéma, kötőhártya-gyulladás, és a bőrrák. Ezen felsoroltakért jobbára az UV-B felel. Hullámhossztartománya: 280-315nm. Az emberi szem számára érzékelhető elektromágneses sugárzás csupán egy rendkívül szűk, 380-760 nm-ig terjedő hullámhossztartományt jelent, ami a Napból és mesterséges forrásokból is származhat. Ez a látható fény tartománya. 760nm-től 1000µm-ig terjed az infravörös fény által elfoglalt rész. Ezt a fényt a Nap melegítő hatásából érzékeljük, valamint különböző mesterséges források (például infralámpa) is kibocsátják. Melegítő hatása miatt nagyobb dózisban értáguláshoz, bőrgyulladáshoz, égési sérülésekhez vezethet. A következő két tartomány a *mikro- és a rádióhullámú elektromágneses sugárzások*, ebben a sorrendben. A mikrohullámú sugárzások hullámhossza nagyjából 1mm-től 1dm-ig terjed, a rádióhullámú sugárzásoké pedig 1 dm-től 1 km-ig. A kettő együtt nagyjából *rádiófrekvenciás sugárzások tartományát fedi le*. Rádiófrekvenciás sugárzás érzékelésén alapul mindennapi életünkben jó néhány eszköz, berendezés működése. Ilyenek például mobiltelefonok és bázisállomásaik, mikrohullámú sütők, rádió- és TV-adótornyok és a wifi adók is. Ezen két elektromágneses sugárzástartomány dolgozatom központi témáját is képezi, ezek közül is legfőbbképpen a mobiltelefonok által kibocsátott elektromágneses sugárzások tartománya, amelyről bővebben a következő részekben lesz szó. (Halász T. et al. 2008, Sárváry A. 2011)

II.2. Az elektromágneses sugárzás környezettani vonatkozásai

II.2.1 Élettani hatások

A XX.századi rohamos technikai és tudományos fejlődés következtében ma már úton-útfélen kapcsolatba kerülünk nem-ionizáló elektromágneses terekkel, sugárzásokkal. Éppen ezért ezek folyamatos környezettani és egészségügyi szempontból történő vizsgálata, kutatása manapság elengedhetetlen feladat. Különösen fontos vizsgálatuk annak tudatában, hogy az ionizáló sugárzásokkal ellentétben e sugárzások természetes háttérintenzitása igen kicsi, szinte elenyésző, tehát a nem-ionizáló sugárterhelés döntő többsége mesterséges forrásokból származik.

Minden sugárzástípus esetén fontos meghatározni a különböző fizikai mennyiségeket és a hozzájuk kapcsolódó, epidemiológiai szempontból fontos biológiai mennyiségeket is. A mérések jellegük szerint két csoportba sorolhatóak. Egyrészt végezhetünk helyszíni méréseket, ahol a sugárzás intenzitását figyeljük, valamint végezhetünk személyhez/célcsoporthoz köthető mérést is, amelynek középpontjában az adott személyt/célcsoportot áll, akiket a sugárzás érint. Ebben az esetben azt fontos tehát megvizsgálni, hogy adott elektromágneses környezetben mekkora expozíció éri az adott személyt/célcsoportot. (Finta V. 2007)

Alacsonyfrekvenciás terek élettani hatásai

Az alacsonyfrekvenciás terekről 300 kHz frekvencia alatt és 1km-es hullámhossz felett beszélhetünk. Ennek két fontos altartománya van, a hálózati *alacsony frekvenciás tér* (50-60 Hz) és a *sztatikus elektromágneses tér* (0 Hz és végtelen hullámhossz). A hálózati alacsonyfrekvenciás térhez tartoznak a nagyfeszültségű távvezetékek, transzformátorok, háztartási berendezések. A sztatikushoz pedig az egyenáramú vezetékek, MRI vizsgálat tartozik.

Fontos tény, hogy a villamos energiából származó energia mennyisége rendkívül nagy mértékben nőtt az elmúlt évtizedekben, olyannyira, hogy ma már 20000 TWh-nál is nagyobb a világ éves villamos energia felhasználása. A villamos energia elszállítására, szétosztására városainkat, falvainkat elképesztő mértékben átszövő elektromos hálózatok fejlődtek ki, amelyek ma kidolgozott szabványok szerint működnek.

A városi elektromos hálózat többnyire időben szinuszosan változó feszültségű áramot használ, aminek időfüggése: $U = U_0 \sin(\omega t)$, ahol $\omega=2\pi f$ és f a hálózati frekvencia (50 Hz).

Az 50 Hz-es 230 V effektív feszültségű hálózati frekvencián érkező váltakozó feszültségű elektromos áram elektromos és mágneses tér formájában szállítja az energiát a fogyasztó felé. Ilyen alacsonyfrekvenciás elektromágneses sugárzással, pontosabban térrel jár a különféle háztartási berendezéseink működtetése a porszívótól a mosógépig. Ezen alacsonyfrekvenciás 50 Hz-es távvezetékek környékén sugárzásról nem beszélünk, ezen tereknél a teljesítmény viszonylag kicsi más elektromágneses sugárzásokhoz viszonyítva. (Csanád M. 2013/a)

Az alacsonyfrekvenciás tereknél kölcsönhatás helyszíne a sejtmembránfelszín, a membránon e terek nem jutnak át. A két tér közül itt biológiai vonatkozásban fontosabb mágneses tér, ami az emberi testben áramot indukál. Biológiai vonatkozásban fontos mennyiség az *indukált áramsűrűség (J)*, mértékegysége: A/m^2.

Egészségügyi hatásainál megemlítendő az ideg- és izomszövetek izgatása, valamint a központi idegrendszerre való közvetlen hatása az elektromos jelátviteli folyamatok befolyásolása lévén. (Finta V. 2007)

A mikrohullámú (MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárzások élettani hatásai

A 1mm-től 1 km-es hullámhosszig, terjedő mikrohullámú és rádiófrekvenciás hullámokat (frekvenciatartományuk körülbelül 30kHz-300GHz) használó eszközeink legalább szintén hatalmas jelentőséggel bírnak mindennapi életünkben (mobiltelefonok és bázisállomásaik, rádió-és TV adók, mikrohullámú sütők, radarok, wifiadók). Ahogy arról már a korábbiakban volt szó, e sugárzások jellemzésére az intenzitásukat szokás mérni. Egy adó (pl. Hertz-dipól) intenzitásának kiszámítása a következő összefüggés szerint történik, mint ahogy már az elektromágneses hullámok részben volt szó róla:

$I= \frac{P}{A} = \epsilon_0 c E^2/2 = \frac{1}{\mu_0} B^2/2$. ($A=4\pi r^2$). Így tehát a távolsággal a mágneses és elektromos tér 1/r-el, míg a teljesítménysűrűség (intenzitás) P/r^2-el csökken, ahol P az antenna *effektív kisugárzott teljesítménye*. (Csanád M. 2014; Csanád M. 2013/b) Itt hozzá kell tenni, hogy a lakosság ilyen forrásból származó expozícióját jelentős mértékben befolyásolja a beépítettség is.

Ezáltal városi környezetben az adók által kibocsátott sugárzás teljesítménysűrűsége körülbelül a távolság 3,5-ik hatványával csökken az árnyékoló épületek miatt, így mobiltelefonok sugárzása esetében nagyobb egészségügyi kockázatról beszélhetünk, mint bázisállomásaik esetében. (Finta V. 2007)

Az emberi testnek sugárzással való kölcsönhatásának alapvetően három szintje van: fizikai, biológiai, és egészségügyi. Az elsőben a külső tér érintkezik a testtel, aminek biológiai következményei lehetnek. Ez a kölcsönhatás következtében fellépő sejtszintű válasz, amit legtöbbször nem érzékelünk. Egészségügyi hatást már érzékeljük, bizonyos feltételek között lép fel, amikor a szervezet védekező mechanizmusai ezt nem tudják megakadályozni. Ilyen esetekben szerkezeti, funkcionális és viselkedésbeli változások léphetnek fel a biológiai rendszerekben. Ahhoz, hogy az egészségügyi hatásokkal tisztában legyünk vagy legyen fogalmunk róla, rendszeres humán és epidemiológiai vizsgálatok, sejt-és szövettenyészet vizsgálatok, állatkísérletek szükségesek. (Finta V. 2013)

A mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzások fizikai hatásainak szempontjából fontos vizsgálandó mennyiségek az elektromos térerősség (E; V/m), a mágneses indukció (B; Tesla) és a teljesítménysűrűség vagy intenzitás (S; W/m^2) (Finta V. 2007). A biológiai hatásainak szempontjából pedig az úgynevezett *SAR (Specific Absorbtion Rate/ fajlagosan elnyelt teljesítmény)* a legfontosabb mennyiség:

$$\mathrm{SAR}=\frac{dP}{dm}\ (\mathrm{W/kg}) \tag{21}$$

300 Mhz feletti sugárzások esetén sokszor használandó a SAR mellett a *fajlagosan elnyelt energia* is (SA), ami az előbbi idő szerinti integráltját jelenti. 100 Mhz és 300 Ghz között az SA mellett a sugárzás teljesítménysűrűségét és besugárzási időt használjuk. Ennek a kettőnek a szorzata adja meg, hogy egy rendszer adott idő alatt adott felületen mekkora energiát nyelt el. (Kiss Á., Tasnádi P. 2012)

A kutatások egyik legfontosabb célja frekvencia szelektíven meghatározni, hogy mely sugárzások nyelődnek el a sejtfelszínen, sejtmembránban, sejtplazmában, makromolekulákban. A sugárzások elnyelődésének mértéke a test elektromos permittivitásától és mágneses permeabilitásától függ. A biológiailag fontos anyagok elektromos permittivitása pedig frekvenciafüggő. Ha a külső tér és az elnyelő anyagban (pl. testben) található *dipólusok* (pl. vízmolekulák) mozgásának periódusideje megegyezik, nagyobb mértékű elnyelődés történik. Ezekből következik, hogy a biológiailag fontos anyagok más-más frekvenciatartományban nyelnek el.

A sejtmembrán, makromolekulák, fehérjék, aminosavak, peptidek vízmolekulák ebben a sorrendben egyre nagyobb frekvenciát képesek abszorbeálni. Kutatások kimutatták, hogy e sugárzások behatolási mélysége is frekvenciafüggő. Néhány Mhz frekvenciák még 10-30 cm-re, néhány GHz frekvenciák pár 1-2 cm-re (pl. mobiltelefonok), több 10 GHz-es frekvenciák pedig csak maximum pár mm-re tudnak behatolni az emberi szervezetbe.

A testben való elnyelődés mértékét nagyban befolyásolja még az adott szövet víztartalma. (Sárváry A. 2011; Vijay K. et al 2008)

A magasabb víztartalmú szövetek (pl. izom, bőr, agyszövet) sokkal nagyobb abszorpcióval rendelkeznek, mint a szárazabb szövetek (pl. zsír, csont).

A mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzások okozta egészségügyi hatások általában *hőhatással* kapcsolatosak. A sugárzások hatására testünkben szignifikáns hőmérsékletemelkedés léphet föl. *Termikus hatás* (1 °C-nál nagyobb hőmérsékletemelkedés) 2-8 W/kg SAR esetén léphet föl, azonban csak nagyon ritka esetekben. Ebben az esetben izzadás, vérnyomás-emelkedés, viselkedésbeli változások figyelhetőek meg és a központi idegrendszerre gyakorolt hatása is kimutatható. A neuronok környezetének ionösszetételéért felelős vér-agy gát működése változhat meg ez által. (Köteles Gy. 2002; Finta V. 2007)

Az esetek többségében ez a hatás *atermikus* vagy *nem termikus*. Előbbi körülbelül 0,5-2 W/kg, az utóbbi pedig körülbelül 0,5 W/kg-ú vagy kisebb SAR esetén léphet föl.
(Finta V. 2007)

A mobiltelefonok által kibocsátott 900/1800/2100 MHz-es frekvenciájú, jellemzően 10-30 cm-es hullámhosszúságú elektromágneses sugárzások biológiai, egészségügyi hatásával kapcsolatos kutatások ma a legfontosabb sugárvédelmi vizsgálatok közé tartoznak. Legtöbb kutatás a megnövekedett társadalmi igény miatt az agydaganatok kialakulásával kapcsolatos. Eddig nem találtak bizonyítékot arra, hogy a mobiltelefonok használatának hatása lenne az agydaganatok kialakulásában valamint növekedésében. Kész tényeket levonni azonban azért is nehéz, hiszen a mobiltelefonok használata alig több mint 20 évet ölel fel. (Repacholi et al. 2012)

Vannak azonban kísérletekkel alátámasztott fontos tények, amiket fontos szem előtt tartanunk. Mobiltelefonnal végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy ennek a típusú sugárzásnak a kisgyermekek sokkal inkább kitettek, mint a felnőttek. Az agy kisebb mérete, valamint magasabb víztartalma miatt kisgyermek korban az agyban jóval

nagyobb térfogatban mutatható ki a mobiltelefonálás közbeni hőmérséklet-emelkedés. (Finta V. 2013)

Nagy erejű kutatások, vizsgálatok folynak még az agy hullámainak, reakcióidőnek, memóriának változásaira vonatkozóan. Vannak olyan kutatások, amelyeknek eredményei kimutatták, hogy agyi elektromos aktivitást és hullámait befolyásolják a mobiltelefonok telefonálás közben. (D' Costa, H. et al 2003)

Egy másik kísérletben, amiben GSM (900Mhz) és UMTS terekkel (1950MHz) működő mobiltelefonok hatásait vizsgálták az agyi elektromos aktivitásra, figyelemre, nem mutattak ki semmilyen változást semelyik esetben sem a normál állapothoz képest. (Kleinhogel, H. 2008)

Számos tanulmány szerint létezik egy ún. elektromágneses túlérzékenység is, amelyek szerint sokan negatív testi tüneteket éreznek (pl. fejfájás, szédülés, hányinger) rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzás hatására, ám ezen mellékhatások abból a hitből, meggyőződésből fakadhatnak, hogy a sugárzások károsak. Ez „nocebo" hatásnak nevezik. (Lásd „placebo" hatás). (Rubin et al. 2010)

II.2.2 Jogi szabályozás, sugárvédelem

Ezen előbb említett nem-ionizáló sugárzások lehetséges biológiai, egészségügyi hatásai miatt, a különféle sugárzástartományoknál mért fizikai és biológiai mennyiségekre különböző határértékeket állapítottak meg. Ezeket a határértékeket egy nemzetközi szervezet, a Nemzetközi Szervezet a Nem ionizáló Sugárzások Védelméről (International Comission on Non-ionizing Radiation Protection, röviden ICNIRP) ajánlja meg. A végső döntést azonban minden országban a helyi jogalkotásra felhatalmazott testület hozza meg. Az Európai Unió tagállamai általában teljes mértékben az ICNIRP által közölt legfrissebb ajánlásokat építik be a jogrendjükbe. (Kiss Á.- Tasnádi P. 2012)

Először az alacsonyfrekvenciás és sztatikus terekre vonatkozó természetes értékek és a már előző fejezetben felsorolt mesterséges forrásokból származó terek értékeire térek ki. A különböző sztatikus terek jellemző értékei az *1-es táblázatban* olvashatóak:

Típus	E (V/m)	B (μT)
Természetes háttér	légkör: 90-150	Föld: 25-72
Képernyők (kb. 3cm-re)	20000	20
50 kV-os DC kábel (kb. 3 cm-re)	30000	22
MRI páciensre/kezelőre (pár cm-re)		$2\text{-}2{,}5\cdot10^{6}/5000$

1. *táblázat. A sztatikus terek jellemző értékei (készült Finta V. 2007 alapján)*

A táblázatban a természetes háttérhez, a képernyőkhöz, az 50 kV-os DC kábelhez és MRI készülékek páciensre, illetve kezelőre jellemző elektromos térerősség és mágneses indukció értékek láthatóak. Láthatjuk, hogy a természetes légköri elektromos térerősség 2-3 nagyságrenddel kisebb a mesterséges forrásokból származó sugárzások mindegyikénél.

Az alacsonyfrekvenciás terek jellemző értékei a *2. táblázatban* láthatóak:

Típus	E (V/m)	B (μT)
Természetes háttér	$1\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-4}$
Távvezeték 756 V (alatta állva)	12000	30
Háztartási hálózat/berendezések (kb. 3cm-re)	10-50/500	0,05-0,3/50-150

2. *táblázat. Alacsonyfrekvenciás terek jellemző értékei (készült Finta V. 2007 alapján)*

Alacsony terek esetében pedig még a sztatikus tereknél is több nagyságrendet ölel föl (5-8) a természetes és különböző mesterséges forrásokból származó sugárzás közti differencia a térerősséget és mágneses indukciót tekintve.

A *3. táblázatban* pedig nézzük meg, milyen határértékek vannak rögzítve jelenleg az alacsonyfrekvenciás és sztatikus áramokra vonatkozóan. Ezen értékek különbözőek a lakosságra és az ilyen sugárzásoknak a foglalkozásukból adódóan kitett személyekre.

Terek jellege	Lakosság (ipari frekvenciákra)	Foglalkoztatottak (ipari frekvenciákra)
Elektromos térerősség (E)	5 kV/m	10 kV/m
Mágneses indukció (B)	100 µT	500µT
Indukált áramerősség	2 mA/m^2	10 mA/m^2

3. táblázat. Sztatikus és alacsonyfrekvenciás terekre vonatkozó határértékek (készült Kiss Á.-Tasnádi P. 2012 alapján)

Összehasonlításképpen érdemes megnézni, hogy természetes módon biológiai folyamatok lévén a testünkben is keletkeznek áramsűrűségek 2-10 mA/m^2 közé esnek. Láthatjuk, hogy a határértékek úgy lettek megállapítva, hogy azok az előbbi alsó határánál ne legyen nagyobbak. Azt is észrevehetjük, hogy a normál esetben a transzformátorok, háztartási berendezések, távvezetékek által keltett mágneses indukció értékei egy nagyságrenddel alatta van a megfelelő határértékeknek. Jelen állás szerint a fenti határon belül maradó sugaraknak nincsen egészségügyi hatása, rákot bizonyosan nem okoznak, és daganatnövelő hatásuk sem ismert.

A következőben a rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások maximális megengedett értékeit mutatnám be a *4. táblázatban*.

Típus	S (µW/m^2)	E; B
Természetes háttér	0,0014	
adótornyok, bázisáll.ok (FM VHF; UHF)	50-1000	
100 W-os antennától 30-40m-re	10000	
mobiltelefon (pár cm-re)	$1 \cdot 10^7$	
mikrohullámú sütő (kb.5 cm-re)	$5 \cdot 10^7$	
számítógép monitor (kb. 80 cm-re)		10 kV/m; 0,2

4. táblázat. Rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások maximális megengedett értékei (készült Finta V. 2007 alapján)

A sugárvédelmi határértékeket viselkedésváltozásra vonatkozó állatkísérletekkel alakították ki. Első megfigyelhető változások 3-4 W/kg SAR értéknél jelentek meg. (Finta V. 2007) Az ICNIRP ennek az értéknek a tizedét javasolta foglalkoztatási korlátnak, és ötvened részét lakossági korlátnak. Így a ma érvényben lévő SAR

határérték mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzásokra egész testre vonatkoztatva 0,08W/kg.

Az *5. táblázatban* egy részletesebb rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzásokra vonatkozó határérték összefoglalót láthatunk. Leolvashatjuk róla a különböző fajlagos teljesítményabszorpciókra vonatkozó határértékeket egész testre, fejre és törzsre valamint végtagokra vonatkoztatva, valamint a megengedett maximális teljesítménysűrűségeket/sugárzásintenzitásokat frekvencia szelektíven.

A besugárzás jellege	**SAR határérték lakosságra**	**SAR határérték foglalkoztatottakra**
Egész testre	0,08 W/kg	0,4W/kg
Lokálisan: fej, törzs	2 W/kg	10 W/kg
Lokálisan: végtagok	4 W/kg	20 W/kg
Sugárzásintenzitásokra vonatkozó határok (S)	**S határérték lakosságra**	**S határérték foglalkoztatottakra**
400 Mhz-nél	2 W/m^2	10 W/m^2
900 MHz-nél	4,5 W/m^2	22,5 W/m^2
1800 MHz-nél	9 W/m^2	22,5 W/m^2

5. táblázat. Rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugarakra vonatkozó SAR és S határértékek (készült Kiss Á.-Tasnádi P. 2012 alapján)

Összehasonlításképpen a telefonkészülékek általában 900 MHz-en 1 W, a többi frekvencián 2 W teljesítményt adnak. TV-és rádióadók teljesítménysűrűsége 100-300 m távolságban kb. 2 W/m^2. Egy 100 W-al működő bázisállomás pedig néhány 10 m-re szintén kb. 2 W/m^2 teljesítménysűrűséggel rendelkezik. Normál esetben tehát ezen sugárzások esetében sem találkozunk a határértékeket meghaladó értékekkel. A tudomány jelen állása szerint a határértéken belül maradó terek itt sem okoznak rákos megbetegedést, és a rendellenes sejtburjánzást sem segítik elő.
(Kiss Á.-Tasnádi P. 2012)

Amit biztosan kijelenthetünk, hogy a fenti elektromágneses sugárzások határértéken belül nem okoznak egészségkárosodást, azonban biológiai hatásaik ettől még lehetnek.

III.RÉSZ: Önálló mérések leírása

III.1 Mérés célja és módszertana

A rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzások, ezen belül is legfőbbképpen a mobiltelefonokból származó elektromágneses sugárzások jelenlétének, változásának szemléletesebb, gyakorlatiasabb bemutatása érdekében egyéni méréseimet, azok eredményeit és értékelését mutatom be szakdolgozatom ezen részében.

Helyszíni méréseket végeztem az ELTE-TTK lágymányosi kampuszán, ahol jómagam is napi rendszerességgel megfordulok. Hat alkalommal végeztem mérést és minden mérésem alkalmával ugyanazt a területet jártam be.

Munkámat egy nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzásokra érzékeny mérőműszer segítségével végeztem, melynek pontos típusa: HF 32D, érzékelt frekvenciatartománya pedig: 800 MHz-2.5 GHz.

Ez a frekvenciatartomány lefedi a leggyakoribb nagyfrekvenciás sugárzásokat használó eszközöket, berendezéseket, úgy mint a GMS, UMTS terekkel kommunikáló mobiltelefonokat és bázisállomásaikat, vezeték nélküli telefonokat, a vezeték nélküli kommunikációt megvalósító wifiket, repülőtéri radarokat.

Méréseim megkezdése előtt arra számítottam, hogy a mobiltelefonokból származó sugárzás fogja adni a műszerem által érzékelt nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzás nagy részét. A mérőműszerhez egy LogPer-antenna is tartozik, amely a külső jelek észlelésére képes.

A WLAN rendszerekben az antennák dipólantennák, és minden irányból jövő jelet képesek észlelni, valamint képesek a vezetett és kisugárzott hullámok energiáját átalakítani. (cisco 2007)

A műszer által digitálisan kijelzett mennyiség a sugárzásintenzitás/teljesítménysűrűség, amelyet $\mu W/m^2$-ben rögzítettem.

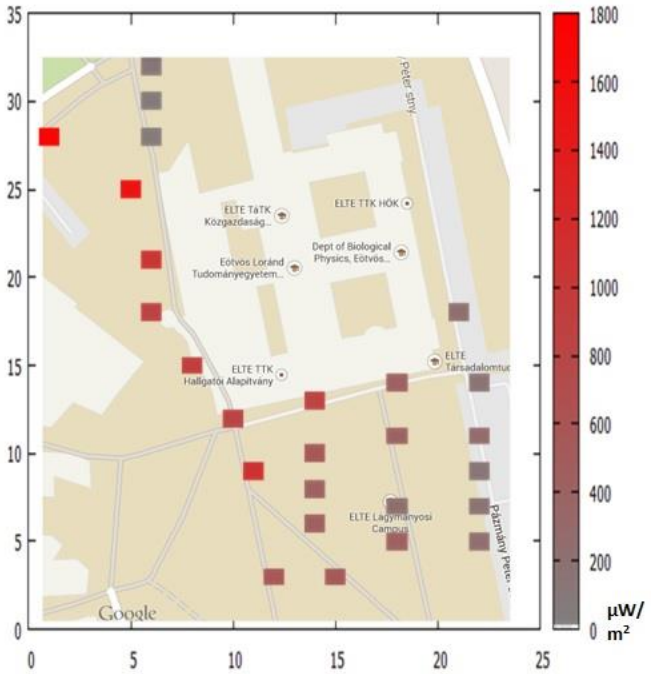
A méréseimhez használt térképet képzeletbeli 10x10, illetve 40x40 méteres cellákra osztottam föl, amelyek mindegyikéhez egy-egy koordinátapárt, ez utóbbiakhoz pedig két-két mérési eredményt rendeltem. Minden egyes képzeletbeli cella közepében tehát két mérést végeztem, egyet észak-déli, a másikat pedig kelet-nyugati irányban. Méréseim után eredményeimet rögzítettem, majd minden egyes koordinátapárhoz tartozó két mérési eredmény négyzetösszegének gyökét vettem, és ezzel a számmal jellemeztem egy-egy képzeletbeli cellát.

Méréseim ismertetésénél először minden alkalom eredményeiből egy területi eloszlást elemzek, majd ezen rész végén pedig a különböző mérési alkalmak eredményei közötti összehasonlítás lesz olvasható. Első négy körömet szándékosan az egyetem által megszervezett egyik legnagyobb rendezvény, a Lágymányosi Eötvös Napok idejére (2012. május 8-10) időzítettem, amikor is körülbelül 100x-200x annyi ember volt a kampusz területén, mint egy átlagos napon. Méréskört végeztem egy koradélutáni, egy késődélutáni, egy esti valamint egy rendezvény végi, hajnali háttérrel. Témavezetőim tanácsára pedig egy nyári és egy tavaszi mérőkört is végeztem, amelyekre 2013.július 19-én, illetve 2014. április 24-én került sor.

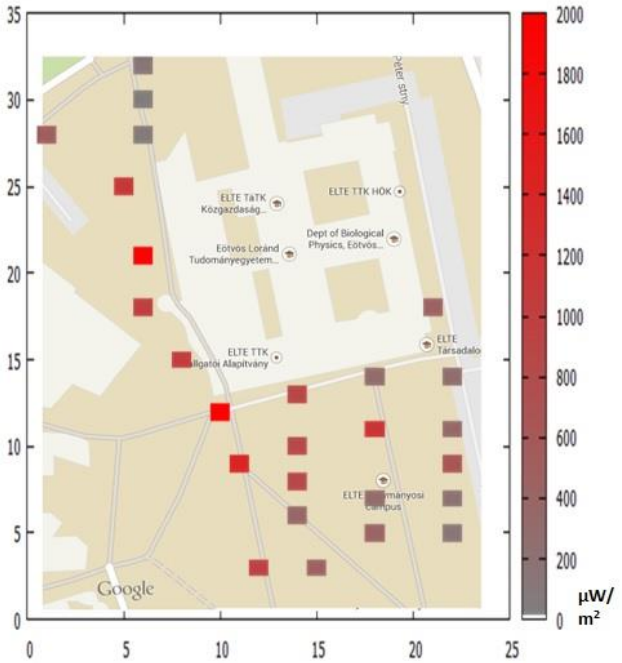
III.2. Területi eloszlás

Vizsgálati eredményeim elemzésének első körében a különböző háttereknél végzett méréseim eredményeinek területi eloszlását mutatom be. Hat különböző mérést végeztem tehát az ELTE lágymányosi kampuszán, amelyek mindegyikének eredményeiről egy-egy térképet készítettem. Ezen térképek alább láthatóak *a 4-9. ábrákon*. Az ábrákon emlékeztetőül nem a közvetlenül mért értékek szerepelnek, hanem az adott cellákhoz tartozó két, különböző irányban mért érték négyzetösszegének a gyöke az irányfüggés átlagolása céljából.

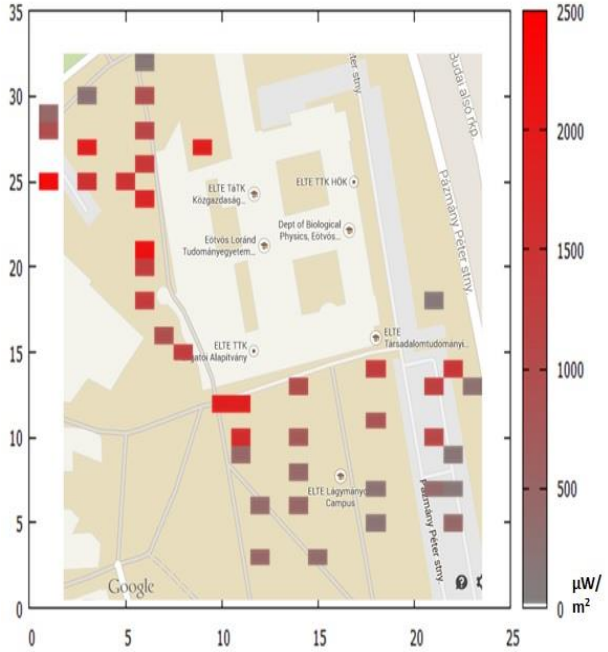
Fontos látni, hogy más a színskála beosztása az egyes ábrákon. A piros szín néhol 1800, néhol pedig 3500 $\mu W/m^2$.



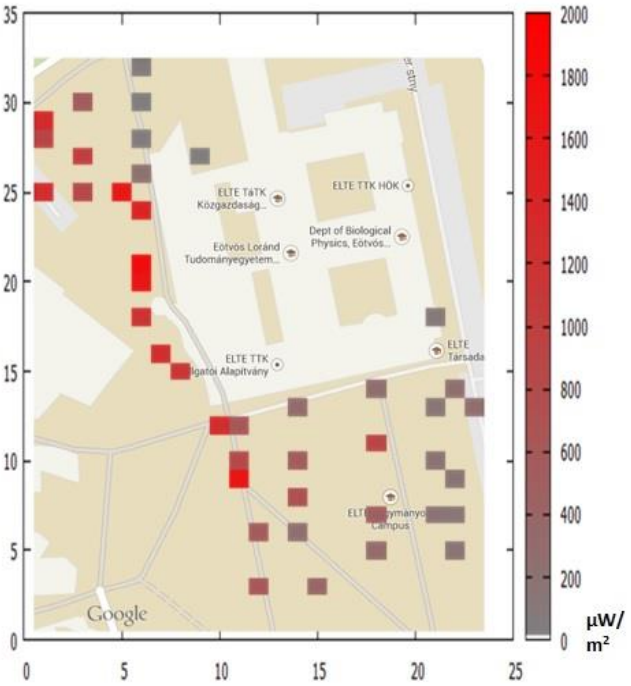
4. ábra. Koradélután végzett mérés eredményei a LEN rendezvény alatt (forrás: saját készítés)



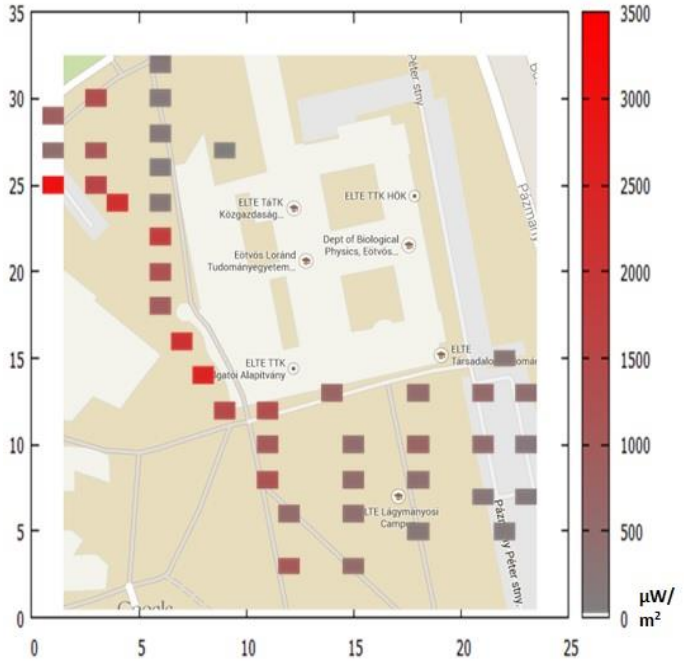
5. ábra. Késődélután végzett mérés eredményei a LEN rendezvény alatt (forrás: saját készítés)



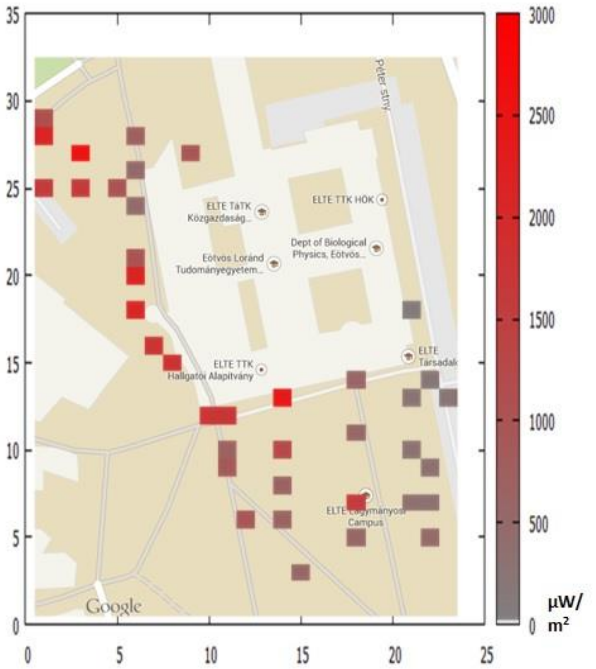
6. ábra. Este végzett mérés eredményei a LEN rendezvény alatt (forrás: saját készítés)



7. ábra. Hajnalban végzett mérés eredményei a LEN rendezvény alatt (forrás: saját készítés)



8. ábra. Nyáron végzett mérés eredményei (forrás: saját készítés)



9. ábra. Tavasszal végzett mérés eredményei (forrás: saját készítés)

A koradélutáni mérésemre 2012 május 9-én 14:30-kor került sor a LEN rendezvény második napján. Az egyetemen ebben az időpontban egy átlagos szorgalmi időszaki naphoz képest kicsivel több ember tartózkodotta a késődélutáni/esti rendezvényre való készülés végett. Az látható, hogy kiugróan magas értékeket csak a lágymányosi kampusz észak-nyugati, a MTA-TTK felé eső részén tapasztaltam. Itt 1600 $\mu W/m^2$ illetve e fölötti értékeket mértem. A többi helyen az északi és déli épület közötti részen, az átlagosnál (500-600 $\mu W/m^2$) kicsit alacsonyabb értékeket mértem (200-300 $\mu W/m^2$).

A késődélutáni háttérnél végzett mérőkörömre 17:00 körül került sor ugyan ezen a napon. Látható, hogy kicsivel magasabb értékek figyelhetőek meg mindenhol, ami köszönhető volt annak, hogy ez időszakban már több ember volt a kampusz területén. Az északi és déli épület közötti rész nyugati területén már 1400-1800 $\mu W/m^2$ közötti értékeket is mértem. A mérési területem MTA-TTK felé eső részén a koradélutáni háttérhez képest valamivel alacsonyabb, ám még mindig magas, átlagosan 1200-1400 $\mu W/m^2$ körüli eredmények jöttek ki.

Az ezt követő esti iődszakra eső mérőkörömre másnap május 9-én 20:00 körül került sor.

Az esti mérésről készült térképen már egy jóval nagyobb változás látszik az előző térképekhez képest az eredményeket tekintve. Ez időtájt már rengeteg ember volt a kampusz területén, akik főleg a különböző cégek által, illetve koncertekre felállított standok, sátrak környékén összpontosultak. Ezeken a helyeken már 2000 $\mu W/m^2$ fölötti értékeket mértem. Egyedül a térkép déli részénél figyeltem meg alacsonyabb értékeket (500-700 $\mu W/m^2$), ezen a területen jóval kevesebb ember is tartózkodott ez időtájt.

Másnap hajnali mérésemre május 10-én 7:00 körül került sor. A kampusz területén szinte senki sem tartózkodott, így mindenhol 400-800 $\mu W/m^2$ közötti értékeket mértem. A kampusz MTA-TTK felőli oldalán ismét magasabb értékeket vettem észre (1600-1800 $\mu W/m^2$), ahol is egy 10-20 fős egyetemista csoport keresztezte utamat.

2013 július 19-ei nyári mérésemet 16 óra felé végeztem. Nyári szünet lévén csak egy pár környéken dolgozó járókelő jött szembe, akik az Infopark felé vezető úton haladtak. Ezeken a területeken számoltam kicsivel magasabb értékeket (500-1000 $\mu W/m^2$). A kampusz MTA-TTK felőli oldalán továbbra is jelentős értékek láthatóak (legmagasabbak 2000-3000 $\mu W/m^2$ közé esnek)

Tavaszi mérőkörömre 2014 április 24-én 13:00 felé került sor. Egy átlagos szorgalmi időszaknak megfelelő forgalom volt a kampusz területén. Az északi és déli épület között

500 és 1000 μW/m^2, míg a kampusz nyugati oldalán ismét meglepően magas, 1500-2500 μW/m^2 közé eső értékek figyelhetőek meg.

III.3. Időbeli eloszlás

Ezen részben a különböző háttereknél végzett méréseim eredményit vetném össze röviden.

Ami a hasonlóságokat illeti, általánosságban elmondható, hogy minden háttérnél egy viszonylag erős nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzás figyelhető meg a lágymányosi kampusz MTA-TTK felőli oldalánál, ami vélhetően a Westel által telepített bázisállomás sugárzásának köszönhető.

Azonban ha ezen magasabb értékeket összevetjük az egészségügyi határértékekkel (lásd *5. táblázat*), nem mondhatók egészségügyileg károsnak, hiszen 3 nagyságrenddel alatta vannak a határértékeknek. A másik hasonlóság pedig az, hogy minden háttérnél a kampusz déli részén, a füves részen alacsony értékeket láthatunk. Ezen a területen szinte nem is tapasztaltam járókelőt semelyik mérőkörömnél.

Érdekes látni azonban azt, hogy a kampusz északi és déli épület közötti terület északi épülethez közel eső részén a különböző háttereknél számolt értékek nagy változatosságot mutatnak. A LEN-es rendezvényen a koradélutáni, késődélutáni, esti hátterek mellett kapott eredmények ebben a sorrendben egyre magasabbak, ahogyan fokozatosan egyre több ember érkezett erre a területre. A nyári háttérnél voltak a legalacsonyabbak az értékek ezen a területen (300-500 μW/m^2) a diákok, oktatók hiánya folytán, míg a tavaszi háttérnél valamivel magasabbak voltak észlelhetők (1000-1500 μW/m^2) a szorgalmi időszak okozta megszokott tömeg miatt.

IV.RÉSZ: Összefoglalás

A dolgozatomban tehát először ismertettem a rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzások megértéséhez szükséges fizikai ismereteket, törvényeket. Ezután egy áttekintést nyújtottam ezen sugárzások környezettani vonatkozásairól és jogi szabályozásáról. Azért, hogy jobban felkeltsem az olvasók figyelmét, érdeklődését a téma iránt, önálló mérést is csináltam, szakdolgozatom végén ezt feldolgoztam, kiértékeltem, amivel igyekeztem gyakorlati szempontból szemléltetni ezen problémakört. Itt fontos ismertetnem, hogy méréseim során a *sugárzások teljesítménysűrűsége* mindig *jelentősen alulmaradt az egészségügyi határértékeknek*.

Mint ahogyan azt fentebb láthattuk, a rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzások egészségügyi, biológiai hatásairól nehéz megkérdőjelezhetetlen tényeket, igazságokat elmondani, hiszen az ezzel kapcsolatos *vizsgálatok, kutatások ellentmondásosak*. Ez abból fakadhat, hogy ezen sugárzásokkal, terekkel kommunikáló eszközeink, berendezéseink használata nem ölel fel kellően hosszú időtartamot.

Néhány tényt azonban érdemes tudnunk. A Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) statisztikai bizonyítékok alapján 2011. május 31-én a rádiófrekvenciás sugárzásokat lehetséges emberi rákkeltőnek nevezte meg, így fontos tudnunk, hogy ezen sugárzások negatív hatásaival számolnunk kell bizonyos körülmények esetén. (WHO 2011)

Ahhoz, hogy a fenti sugárzások egészségügyi, biológiai hatásairól, több, mélyebb, biztosabb ismeretet szerezhessünk*, további hosszú távú és széleskörű epidemiológiai kutatások* kellenek. Fontos továbbá elektromágneses környezetünk folyamatos mérése, tanulmányozása, hogy ezen sugárzások, terek mindig a tudomány aktuális állása szerinti határértéken belül maradjanak. Kellő ismeretek hiányában az *elővigyázatosság elve* alkalmazandó. Ez az elv hasonló az ionizáló sugárzások esetén bevált *ALARA elvvel*, azaz minden sugárzásnál az ésszerűen elérhető legalacsonyabb dózist biztosítsuk.

(Finta V. 2007)

Elengedhetetlen feladat még a sugár *egészségügyi ismeretterjesztés*. Fontos, hogy legalább nagyvonalakban tisztában legyünk a különböző forrásokból létrejövő elektromágneses sugárzások egészségügyi hatásaival, az ezekre vonatkozó határértékekkel, ugyanakkor száműzni kell a társadalomban uralkodó, tudatlanságból eredő fölösleges aggályokat, tévhiteket. (Köteles Gy. 2009)

Köszönetnyilvánítás

Először is köszönöm témavezetőmnek, **Dr. Csanád Mátének**, aki elfoglalt időszakának ellenére is igent mondott a szakdolgozat elkészítésében való közös munkára, köszönöm magas szintű szakmai segítségét és a folyamatos konzultációkat!

Köszönet illeti továbbá **Bánréviné Dr. Finta Viktóriát** is, aki a témára ihletett adott, felhívta figyelmemet a témában rejlő lehetőségekre, és segítséget nyújtott a mérőmunkám módszertanában, feldolgozásában!

Irodalomjegyzék

BARANYI K. 1992: A fizikai gondolkodás iskolája. – *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 398 p.

CSANÁD M. 2013: EMS – Háztartási eszközök által kibocsátott alacsonyfrekvenciás sugárzások mérése. Egyetemi jegyzet http://atomfizika.elte.hu/kornyfizlab/docs/esz.pdf, letöltve: 2014.03.16.

CSANÁD M. 2013: MIK – Háztartási eszközök által kibocsátott mikrohullámú sugárzások mérése. Egyetemi jegyzet http://atomfizika.elte.hu/kornyfizlab/docs/mik.pdf, letöltve: 2014.03.16.

CSANÁD M. 2014: Bevezetés a fizikába 2. Egyetemi jegyzet http://atomfizika.elte.hu/bevfiz2/files/bevfiz2.pdf, letöltve: 2014.02.24.

CISCO 2007: Antenna Patterns and Their Meaning. http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.pdf, letöltve: 2014.04.29.

D'COSTA H.-TRUEMAN G.-TANG L.-ABDEL-RAHMAN U.-ABDEL RAHMAN W.-ONG K.-COSIC I. 2003: Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. - *Australas Phys Eng Sci Med.* 26 (4). pp. 162-167. p

FINTA V. 2007: Milyen hatásai vannak a környezetünkben lévő nem ionizáló elektromágneses sugárzásoknak? – Fizikai Szemle 11. pp. 350-357. p

FINTA V. 2013: Személyi expozíció mérése az elektromágneses spektrum rádiófrekvenciás és mikrohullámú tartományában, Doktori disszertáció 28. p

GULYÁS J.-HONYEK GY.-MARKOVITS T.-SZALÓKI D.-TOMCSÁNYI P.-VARGA A. 2006: Fizika a gimnáziumok 10. évfolyama számára. – *Műszaki Kiadó,* Budapest. 232 p.

HALÁSZ T.-JURISITS J.-SZŰCS J. 2008: Fizika - Rezgések és hullámok – Modern fizika. – *Mozaik Kiadó*, Szeged. 183 p.

KLEINHOGEL H.-DIERKS T.-KOEING T.-LEHMANN H.-MINDER A.-BERZ R. 2008: Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on well-being and resting EEG. – *Bioelectromagnetics.* 29 (6). pp. 479-487. p

KISS Á.-TASNÁDI P. 2012: Környezetfizika. – *Typotex Kiadó* 307 p.

KÖTELES GY. 2002: Sugáregészségtan. – *Medicina Könyvkiadó*, Budapest. 363 p.

KÖTELES GY. 2012: A sugáregészségügyi ismeretterjesztésről. – Egészségtudomány 2. pp. 45. p

LITZ J. 2005: Fizika II – Termodinamika és molekuláris fizika – Elektromosság és mágnesség. – *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest. 659 p.

OXFORD UNIVERSITY PRESS (China) LTD. 2003: Elektromagnetic spectrum. http://sciencecity.oupchina.com.hk/npaw/student/glossary/electromagnetic_spectrum.htm, letöltve: 2014.03.17.

ÖVEGES J. 1995: Kis fizika II – Elektromosságtan – Elektromos sugárzások – Atomfizika. – *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest. 181 p.

REPACHOLI MH.-LERCHL A.-RÖÖSLI M.-SIENKIEWICZ Z.-AUVINEN A.-BRECKENKAMP J.- D'INZEO G.-ELLIOTT P.-FREI P.-HEINRICH S.-LAGROYE I.-LAHKOLA A.-MCCORMICK DL.- THOMAS S.-VECCHIA P. 2012: Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics* 33 (3). pp. 187-206. p

RUBIN GJ.- NIETO HERNANDEZ E.-WESSELY S. 2010: Idiopathic Environmental Intolerance Attributed to Electromagnetic Fields (Formerly 'Electromagnetic Hypersensitivity'): Provocation Studies. *Bioelectromagnetics.* 31. pp. 1-11. p

SÁRVÁRY A. 2011: Környezetegészségtan. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019_1A_Kornyezetegeszsegtan/index.html, letöltve: 2014.04.18.

VIJAY K.-R P VATS.-SACHIN G.-SANDEEP K.-P P PATHAK 2008: Interaction of electromagnetic radiation with human body. *Indian Journal of Radio and Space Physics.* 37. pp. 131-134. p

WHO 2011: Electromagnetic fields and public health: mobile phones. *Fact sheet N°193*

http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/, letöltve: 2014.05.08.

WIKIHAM 2008: Rádióhullám. http://wiki.ham.hu/index.php/R%C3%A1di%C3%B3hull%C3%A1m, letöltve: 2014.03.28