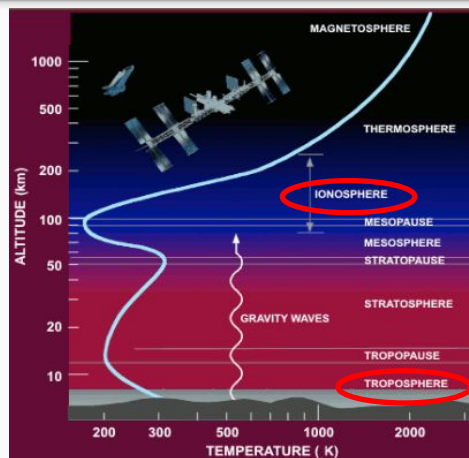


Hullámterjedés



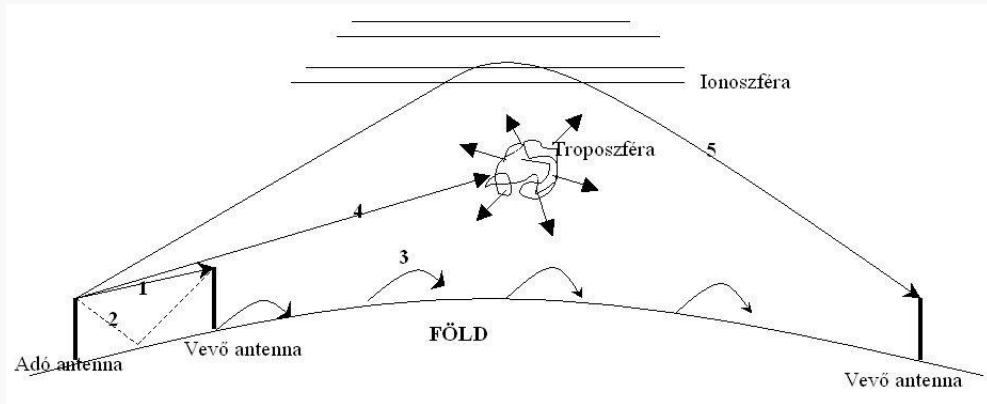
Az előadás hullámterjedéssel kapcsolatos része nagyban épít az alábbi jegyzetre:
http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/hullamterjedes.pdf

Légkör szerkezete



A rádióhullámok terjedésében nagy szerepe van a föld légköri rétegeinek. Ezen belül is különösen fontos szerepet kap a troposzféra és az ionoszféra, amik az összes közül a legnagyobb mértékben meghatározzák a hullámterjedési jelenségeket.

Hullámterjedési módok



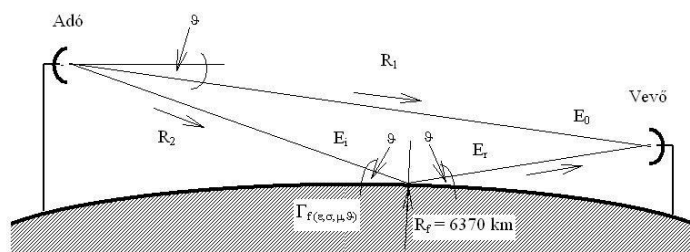
5 hullámterjedési módot különböztetünk meg egymástól:

- Közvetlen
- Reflektált
- Felületi
- Troposzférikus
- Ionoszférikus

1, 2. Közvetlen hullámterjedés (Line of Sight)

- URH
- Fényszerű
- Rövidtávú összeköttetés
- Többutas terjedés reflexiók révén

$$a_{sz}^{[dB]} = 10 \lg \frac{P_T}{P_R} = 20 \lg \frac{4\pi r}{\lambda} - G_T^{[dB]} - G_R^{[dB]}$$



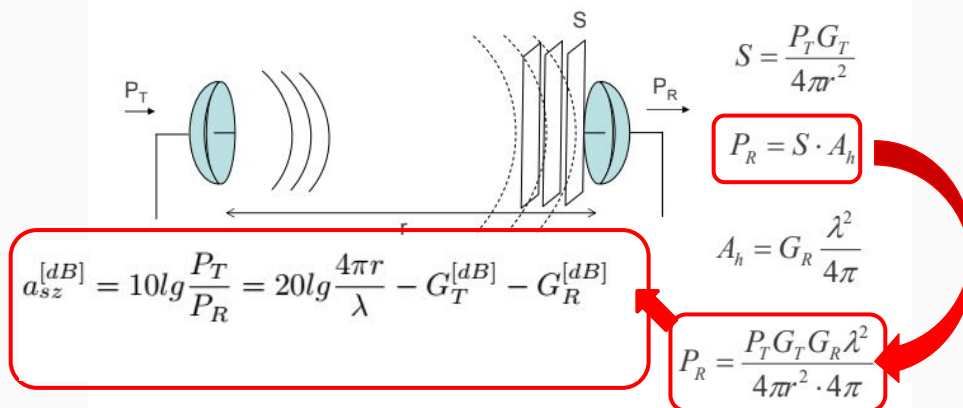
Ultrarövid és deciméteres hullámokra jellemző terjedési mód.

Gyakorlatban a hullámok reflektálódnak, így valójában az adás több különböző útvonalon ér el hozzánk.

A befogott hullámok erőssége nagy mértékben függ az antennák fizikai elhelyezkedésétől (attól függően, hogy éppen milyen fázisban összegződnek a több úton terjedő hullámok).

Ha a reflektált hullámokat elhanyagoljuk és csak a közvetlen terjedést vesszük figyelembe, akkor a szabadtéri hullámterjedési modell alkalmazható.

Szabadtéri hullámterjedés



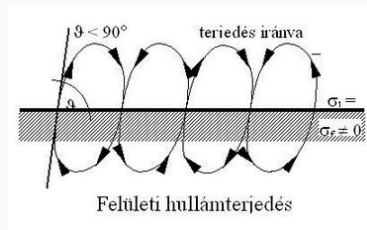
A szakaszcsillapítás (a_{sz}) az adóantennába betáplált, és a vevőantennából kivett teljesítmény aránya. Ezen definíció alapján tudjuk mérni, de előre nem tudjuk becsülni. Ezt a következőképpen tesszük:

Tegyük fel, hogy van egy antennánk, ami minden irányban azonosan sugároz. Ilyenkor egy antenna köré rajzolt szabályos gömb felületén mindenhol azonos a teljesítménysűrűség (S). Ahogy egyre távolabb haladunk az antennától, úgy egyre nagyobb felületű gömbön (gömbfelület = $4\pi r^2$) kell elosztanunk a kisugárzott teljesítményt, így egyre csökken az egységnyi felületre eső teljesítmény.

A valóságban ilyen antenna nem létezik, mindig lesz egy irány, amelyben jobban sugároz, mint a többiben. Ezt főiránynak hívjuk és a nyereséggel (G) jellemezzük, mely megmutatja, hogy egy izotrópikusan (minden irányban azonosan) sugárzó antennához képest mennyivel nagyobb teljesítménysűrűséget hoz létre a főirányában. Ezért az antennák nyeresége annyival csökkenti a szakaszcsillapítást, amennyivel jobban koncentrálna a teljesítményt egy izotróp antennához képest.

3. Felületi hullámterjedés

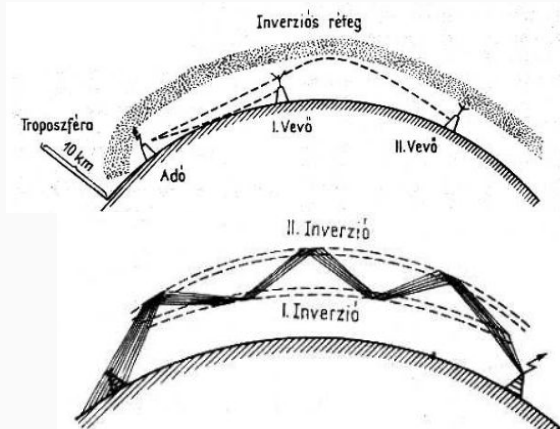
- Hosszú- és középhullámú frekvenciatartományban
- Föld görbületét leköveti
- Nagy hatótávolság



A felületi hullámok a Föld görbületét követve fokozatosan csillapodva terjednek. Ez a terjedési mód főként hosszú- és középhullámon meghatározó. Az adó hatótávolsága főként a teljesítménytől függ.

4. Troposzférikus hullámterjedés

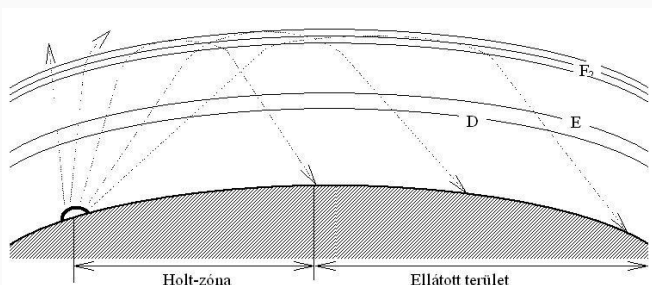
- URH
- Troposzférikus vezetés
- Inverziók
- Snellius-Descartes törvény



A légkör hőmérséklete felfelé haladva csökken, de néha előfordulnak hirtelen hőmérsékletugrások, melyek viszonylag éles határt képeznek a légrétegben. Itt a két közeg sűrűsége (és törésmutatója) nagyban különbözik, így a rádióhullámok (a fényhez hasonlóan) az inverziós rétegbe érve megtörnek, és visszaverődnek a Föld felé. Különböző magasságokban több inverziós réteg is létrejöhethet, ilyenkor többszörös visszaverődés révén még távolabbra juthat el az adás.

5. Ionoszférikus terjedés

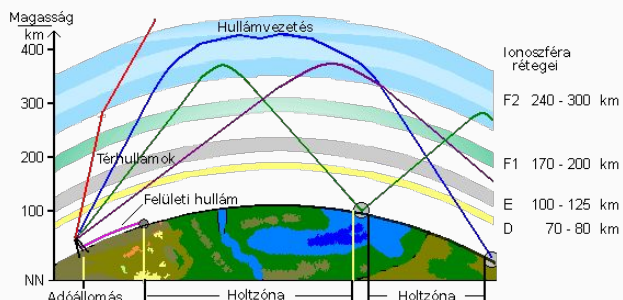
- Ionizált felső légkör visszaverő hatása
- Hosszútávú összeköttetéshez (DX)
- Rövidhullámú sávokon (1 M 30 MHz)



Az ionoszférának jelentős szerepe van a rádióhullámok terjedésében. Nevét onnan kapta, hogy az itt található gázokat a Nap sugárzása erősen ionizálja, így pozitív töltésű ionokat és szabad elektronokat hoz létre. Ezen szabad elektronok egy semleges molekulával negatív iont alkotnak, vagy egy pozitív ionnal találkozva rekombinálódnak. A töltött részecskék nagy koncentrációjának következtében az ionosféra egyes rétegei elektromosan vezetővé válnak, és (egy adott frekvenciatartományban) képesek lesznek az elektromágneses hullámokat visszaverni, reflektálni.

Ionosféra szerkezete

- **D réteg**
 - Napközben van jelen
- **E réteg**
 - Napsugárzástól függ
 - Éjjel eltűnik
- **F réteg**
 - Nappal F1 F2 rétegre bomlik
 - F2 jó RH DX-re



Az ionoszférát több, különböző tulajdonságú rétegre szokás osztani:

- az ionosféra legalsó rétege a D réteg, mely 40...80 km magasságban napközben alakul ki, majd az éjszaka folyamán eltűnik. Ez a réteg inkább elnyeli, csillapítja az elektromágneses hullámokat.
- 100...160 km magasságban található az E réteg, amely napfelkelte előtt keletkezik, és részben éjszaka is fennmarad. Az E rétegben inkább alacsonyabb frekvenciákon már létrejön visszaverődés, egyes esetekben pedig rövid ideig igen magas frekvenciákat is reflektál (sporadikus E-terjedés).
- 180...400 km magasságban alakul ki az F réteg, amely nappal az alsó F1 és felső F2 rétegre hasad. Éjjel az alsó réteg teljesen rekombinálódik. A rövidhullámú jelek visszaverése szempontjából főleg az F rétegnek van jelentősége.

Kritikus frekvencia, MUF, LUF

- **Kritikus frekvencia**

Felette az ionoszférára merőlegesen érkező hullámok nem verődnek vissza

- **LUF - Lowest Useable Frequency**

Az alacsony frekvenciákat elnyelő D réteg állapotától függ

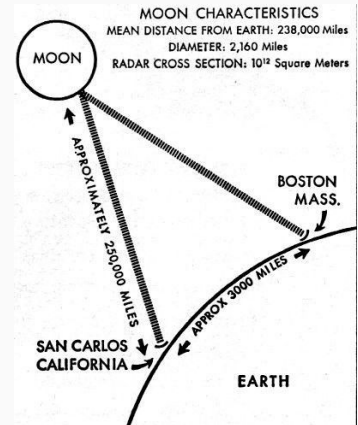
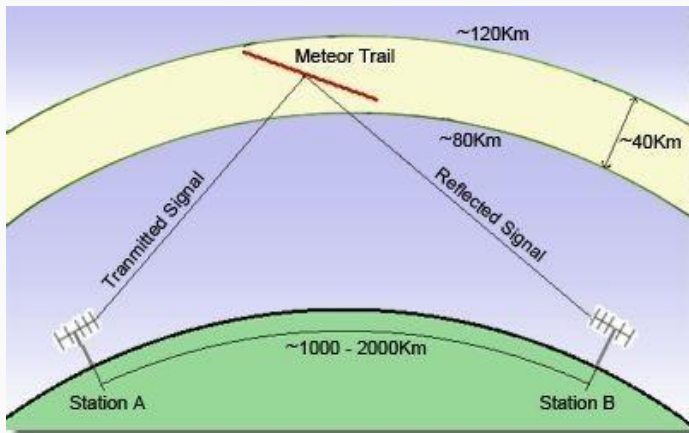
- **MUF - Maximal Useable Frequency**

Melynél a nem merőlegesen érkező hullámok még visszaverődnek

Az ionoszféra állapotától függő kritikus frekvencia felett az ionoszférát merőlegesen elérő hullámok már nem verődnek vissza. Szokásos értéke nyáron 4...9 MHz, télen 3...14 MHz.

Ha a hullámok nem merőlegesen érkeznek az ionoszférába, az a maximális frekvencia, amelynél a visszaverődés még létrejön (MUF = Maximal Usable Frequency) az ionoszféra állapotától és a kisugárzási szögtől függően változik. Kis kisugárzási szögnél a MUF nagyobb, akár a kritikus frekvencia ötszörösét is elérheti. A legalacsonyabb használható frekvencia (LUF = Lowest Usable Frequency) az alacsony frekvenciás hullámokat elnyelő D réteg állapotától függ.

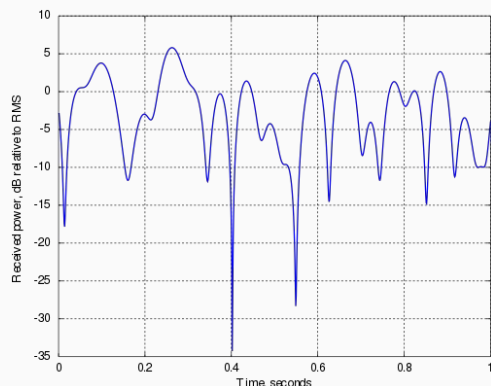
Különleges terjedési módok



Ha meteorok lépnek a légkörbe, akkor azok elégnak, eközben (rövid időre) ionizált csatornát hagyva maguk után. Ez az "ioncsóva" alkalmas a rádióhullámok (tipikusan URH) reflektálásra. Az ilyen összeköttetések néhány másodpercig, sűrű meteorzápor esetén 1-2 percig tarthatóak fenn.

Fading - elhalkulás

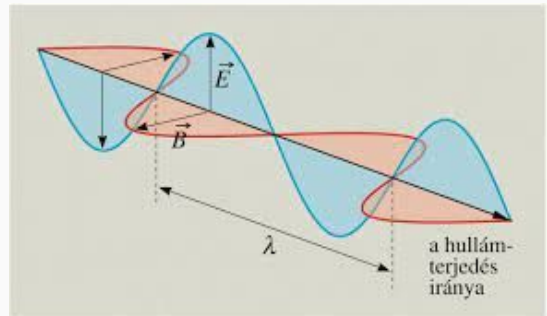
- A térerősség megváltozása → elhalkulás
- Többutas terjedés következménye
- Modellek:
 - Rayleigh
 - Rice



A hullámterjedés sajnos sosem tökéletes. Különböző légköri hatások, többutas terjedés, stb. következményében a vett térerősség időben változik, ennek következtében az adás néha elhalkul, néha felerősödik. Ez a fading jelensége. Ezt a folyamatot leginkább valószínűségi alapon tudjuk jellemezni, melyre különböző modellek léteznek. Ezekből a két legrelevánsabb a Rayleigh és a Rice modellek. A fading jelensége értelemszerűen nem kívánatos, analóg adás esetén a vevőben AGC (Automatic Gain Control) áramkörrel tudunk például védekezni ellene.

EM sugarak élettani hatása

- Kevésé feltárt tématerület
- Inkonzluzív eredmények
- Egymásnak ellentmondó eredmények



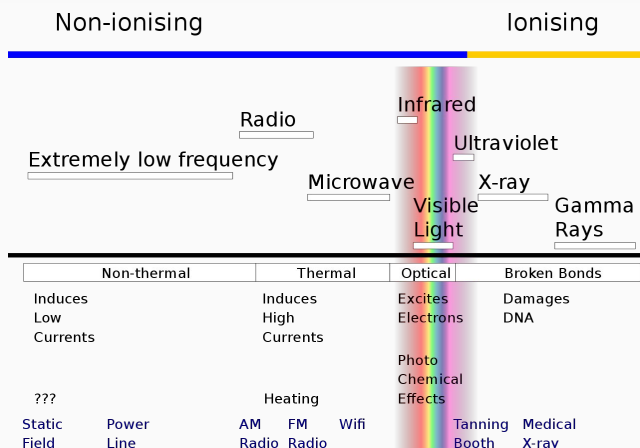
Amikor sor került arra, hogy ezzel a tématerülettel kiegészítsük az előadást, egészen megdöbbentem, hogy mennyire kevés és inkonzisztensek az ezen a tématerületen végzett kutatások eredményei (ahhoz képest, hogy a köztudatban mekkora a félelem előle).

A következő diákon rövid áttekintést mutatunk az EM sugárzásról biztosan ismert egészségügyi hatásokról.

Amennyiben valaki tud tudományos cikkekről (nem tömegmédiában hangoztatott összeesküvés elméletek) a témában, azt nyugodtan juttassa el a Kafunak! Minket is érdekel a téma.

Sugárzás fajtái

- **Ionizáló sugárzás**
 - "Nagy" energiájú
 - Elektronokat választ le az atommagokról
- **Nem ionizáló sugárzás**
 - Nem ionizál atomokat
 - EM spektrum: Látható fény és alatta



Az ionizáló sugárzásnál a terjedő részecskék elegendő energiával rendelkeznek ahhoz, hogy egy-egy atomból vagy molekulából "leszaggassanak" egy vagy több elektront. A kisebb energiájú sugárzás még nagyobb fluxus mellett sem képes ionizációra. Az ionizáló sugárzás roncsolja az élő szervezeteket. Ezzel ellentétben a nem ionizáló sugárzás minden olyan sugárzás, ahol a részecskék nem képesek elektronokat leválasztani az atomokról. Ebbe a kategóriába tartoznak a rádióhullámok is.

Nem ionizáló sugárzás

- Dielektromos fűtés (amit a mikró használ)
- A feltételezett egészségügyi hatásoknál nem sikerült egyértelmű ok-okozati összefüggést találni
- IARC az EM tereket a *lehetséges, hogy rákkeltő* kategóriába sorolta
 - Ide tartozik a kávé és savanyúság is
 - Egy későbbi kutatás kimutatta, hogy az alapul vett kutatás nem egyezik a



A nem ionizáló sugárzás legjelentősebb élettani hatása a dielektromos fűtés. Ilyenkor az elektromágneses tér az anyagban található dipólusokat mozgatja meg, melynek hatására az anyag felmelegszik (ilyen alapon működik a mikrohullámú sütő is). Nagy teljesítményű besugárzás esetén bekövetkezhet a testhőmérséklet emelkedése, de ehhez elég közvetlen és nagy teljesítményű besugárzás szükséges.

Néhány eset, ahol nem sikerült ok-okozati összefüggést kimutatni EM hullámok és egészségkáros hatás között:

Vannak arra utaló jelek, hogy bizonyos esetekben a gyenge EM tér (frekvencia és/vagy modulációtól függően) biológiai hatást fejt ki. Az ezzel kapcsolatos kutatások ellentmondóak a hatásmechanizmus pedig nem ismert.

Számos kutatás találta, hogy nagyfeszültségű távvezetékek közelében élő családoknál kis mértékben emelkedett a gyermekkori leukémia valószínűsége, de a hatást állatkísérletekben nem sikerült reprodukálni.

Egy kutatás szerint aktív mobiltelefon használóknál nagyobb az agydaganat kialakulásának valószínűsége. Metodológiai problémák miatt az ok-okozati kapcsolat bizonytalan

(<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>). Ezen kutatás alapján az IARC az EM hullámokat a *lehetséges, hogy rákkeltő hatású* kategóriába sorolta. Ide tartoznak még többek között a savanyúságok, és a kávé is

(https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf).

Kérdések?