

VEZETÉK NÉLKÜLI LÉTESÍTMÉNYEK

(Kivonatok Kund Csaba : „Vezetéknélküli megoldások a távközlésben”, az MMK által kiadott „Elektronikus hírközlési építmények elhelyezési lehetőségei a településrendezési és szabályozási tervek hírközlési szakági fejezetéhez”, valamint a „Kivitelezési dokumentációk tartalmi követelményei hírközlési és informatikai alkalmazáshoz c. anyagokból.)

I. rész

Mikrohullámú rendszerek tervezése

1. Döntési szempontok vezeték nélküli megoldás alkalmazásához

- Az előfizetői igény gyors kielégítése szükséges
- Az építési engedélyek beszerzése gondot okoz (pl. útfelbontás egy történelmi belvárosban)
- Az egyik, vagy mindkét végpont ritkán lakott területre esik
- P-MP típusú szolgáltatásoknál
- Ideiglenes (rövid távú) az ügyfél igénye
- Részben, vagy egészben rendelkezünk kiépített infrastruktúrával (torony, maghálózati elérés, stb.)
- Ha a költségek alacsonyabbak, mint a vezetékes költségek

2. Frekvenciasávok, hullámterjedés

2.1. Frekvenciasávok

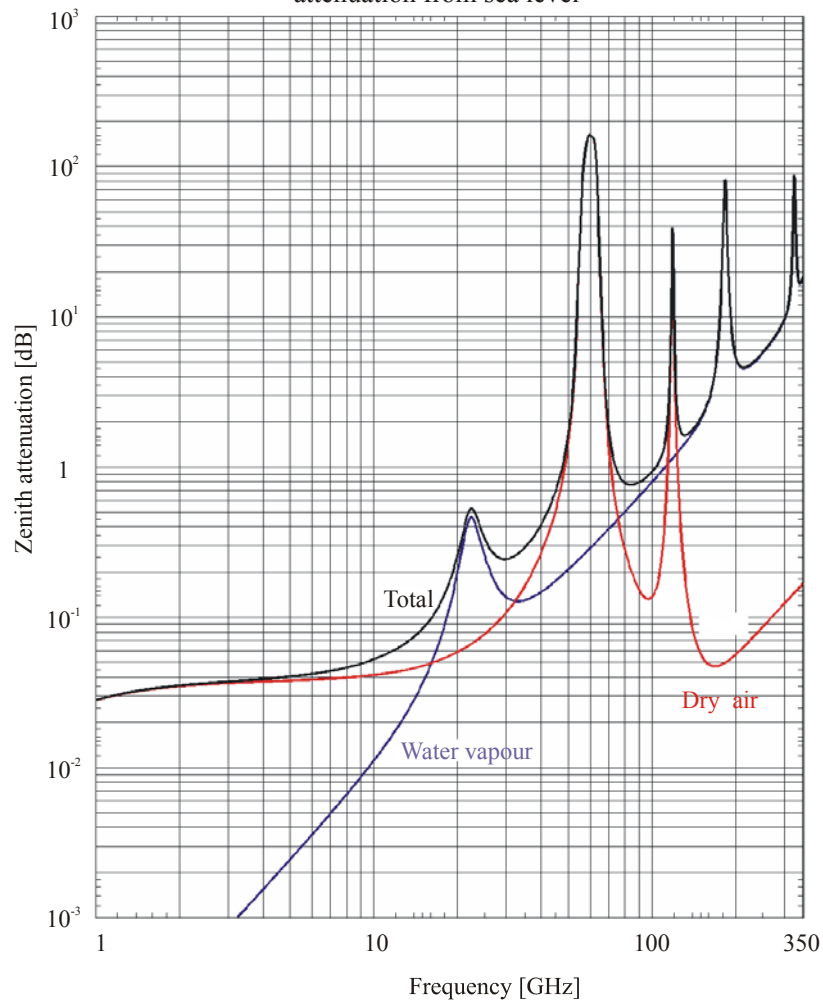
Mikrohullámnak legáltalánosabban az 1 GHz feletti frekvenciatartományt nevezzük. A felső határ ~ 300 GHz-ig terjed. Jelenleg kommunikációs szempontból ez a határ. A 300 GHz-nél magasabb frekvenciákon történő kommunikációt már más elnevezéssel illetjük: infravörös tartományú átvitel, vagy optikai átvitel.

Az első fontos kérdés: hogyan viselkedik a légkör a különböző frekvenciájú mikrohullámú jelek esetén.

A légkört alkotó atmoszférikus gázok csillapítása a frekvencia növelésével növekszik. (Lásd az 1. ábra)

ITU-R P.676-8

Total, dry and water-vapour zenith
attenuation from sea level



1. ábra. Az atmoszférikus gázok csillapítása a frekvencia függvényében

Az atmoszférikus gázok csillapítása két részből tevődik össze:

- száraz levegő csillapító hatása
- a levegőben lévő víz csillapítása

A görbét megvizsgálva mindjárt szembetűnik, hogy az 1 és ~ 10 GHz közötti tartományban viszonylag alacsony a csillapítás. Ezért régebben ezt a tartományt „rádió ablaknak” nevezték. A kisebb frekvenciákon (ami nem mikrohullám) nagyobb a rádiócsatornában megjelenő zaj nagysága. Ezek légköri, termikus, ipari eredetűek lehetnek. A 10 GHz felett viszont a csillapítás növekszik meg. Mindkét hatás (nagyobb légköri zaj, vagy megnövekedett csillapítás) azt eredményezi, hogy ugyanolyan vételi jel/zaj esetén nagyobb kisugárzott teljesítményre van szükség, mint a rádió ablakhoz tartozó frekvenciasávban.

A levegőben lévő vízgőz molekulák csillapítása a 26 GHz-es frekvencián ad egy helyi maximumot. A következő maximum az oxigén molekulák elnyelő hatására jelentkezik ~ 60 GHz-en. Éppen ezt a tulajdonságot használják ki bizonyos katonai alkalmazásoknál, ahol szándékosan használják kommunikációs célokra pl. a 60 GHz-es tartományt, hogy a lehallgatás valószínűségét minimalizálják.

A frekvenciasávok felosztása és a sávhasználat hatósági szabályozása nem tartozik a most tárgyalandó témáink közé. Annyit azonban célszerű megjegyezni, hogy nagyon

szigorú hatósági előírások vonatkoznak a sávhasználat céljaira és a megvalósítandó összeköttetés műszaki paramétereire.

2.2. Hullámerjedési módok

Szabadtéri terjedés

1 GHz felett az elektromágneses hullámok gyakorlatilag egyenes vonalban terjednek. A földfelszíni sugár a levegő változó törésmutatója következtében a földfelszín irányába elhajlik. Ezt úgy tudjuk figyelembe venni, hogy a geometriai fősugár helyett egy, úgynevezett „effektív fősugárral” számolunk. Effektív fősugár: $R_{\text{eff}}=kR_f$. Mivel az elhajlás földrajzi koordináta függő, ezért a „k” is függ a kordinátáktól. A mi szélességi fokunknál $k=4/3$.

Az elektromágneses tér (vákumban), a forrástól kellő távolságra, gömbhullámként terjed, a szabadtéri csillapítás:

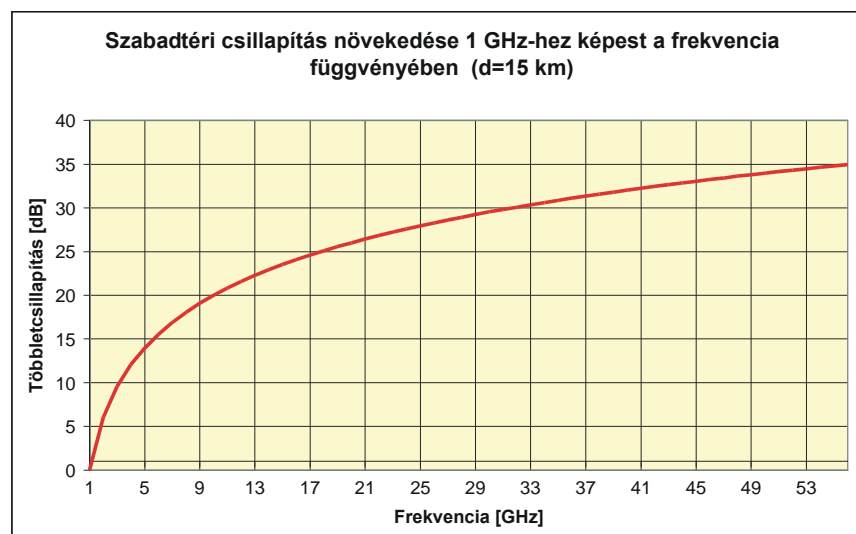
$$A_{SZ} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ [dB]}$$

A szabadtéri csillapítás (összevonás és frekvencia behelyettesítésével):

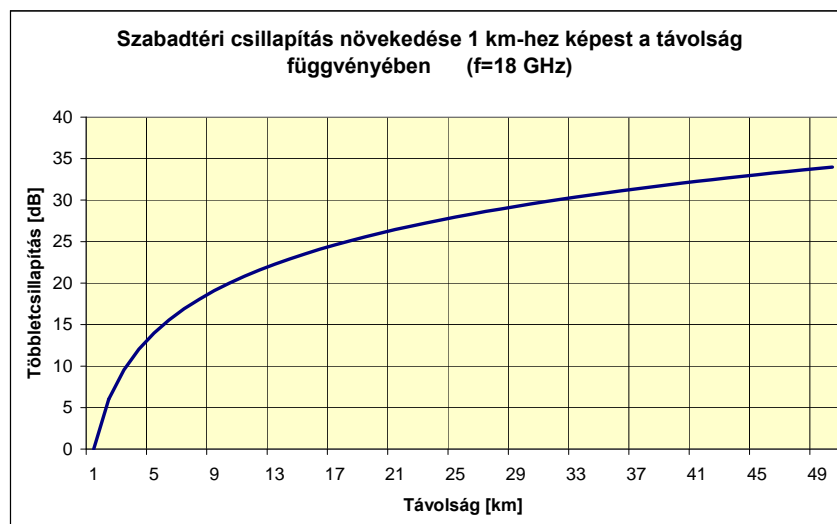
$$A_{SZ}=32,44+20\log f+20\log d \text{ [dB]}$$

Mint látható a szabadtéri csillapítás a frekvencia és a távolság négyzetével arányos. Ebből következik, hogy alacsonyabb frekvenciákon kisebb a csillapítás, azaz nagyobb szakasztávolság hidalható át.

Ezt szemléltetik az alábbi ábrák



2. ábra. A szabadtéri csillapítás a frekvencia függvényében



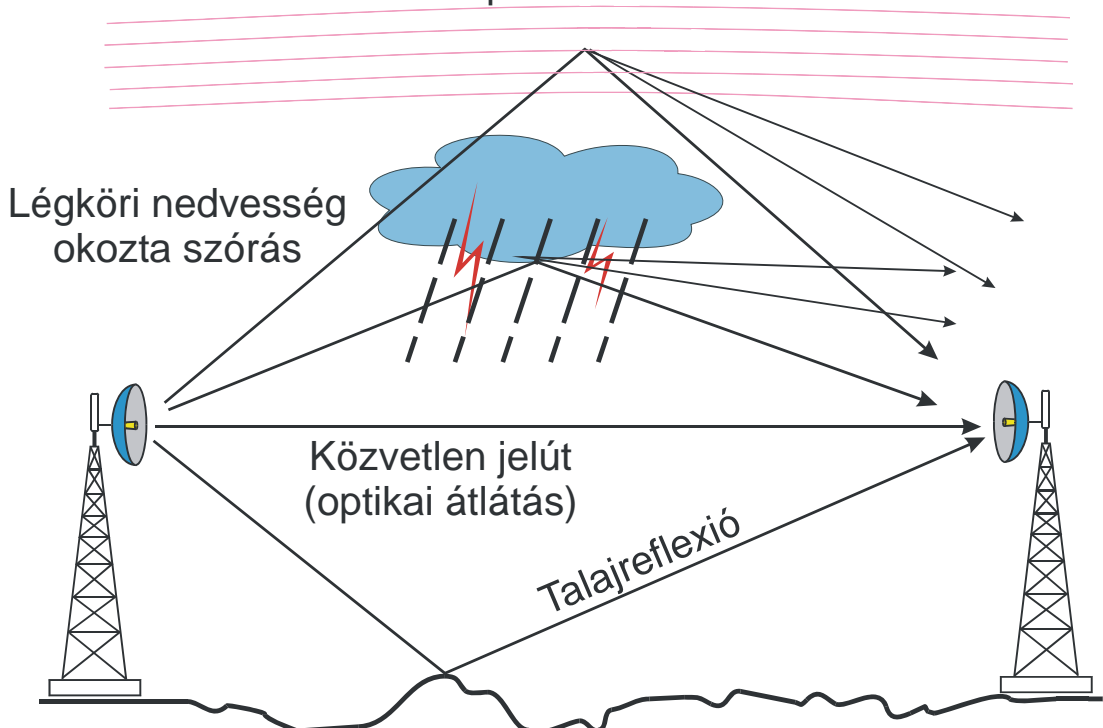
3. ábra. A szabadtéri csillapítás a távolság függvényében

Mint az ábrákon látható a szabadtéri csillapítás mind a frekvencia, mind, pedig a távolság négyzetével arányosan növekszik.

Többutas terjedés

Az egyik antennáról a jel a másik antennára alapvetően egyenes vonalban terjed, ha van optikai átlátás a két antenna között. Ezt a terjedési módot nevezzük „Line of Sight”, LOS terjedésnek. Mivel az antenna nyalábszöge nem nulla, hanem valamilyen véges érték, a jel nemcsak a másik antennához jut, hanem pl. ütközik a talajba, mindenféle tereptárgyba, vagy növényzetbe, ahonnan reflektálódni fog. Hasonló reflexiót lép fel, pl. a troposzféránál, vagy felhőknél. A jel nemcsak egyenes úton, hanem sok egyéb módon is eljut az egyik állomásról a másikra. A 4. ábrán látható mechanizmusok mellett, pl. diffrakció, inhomogén rétegekről reflexió és más hatások is felléphetnek. A lényeg, hogy több úton jut el a jel az egyik állomásról a másikra.

Troposzférikus szórás



4. ábra. Hullámterjedési utak

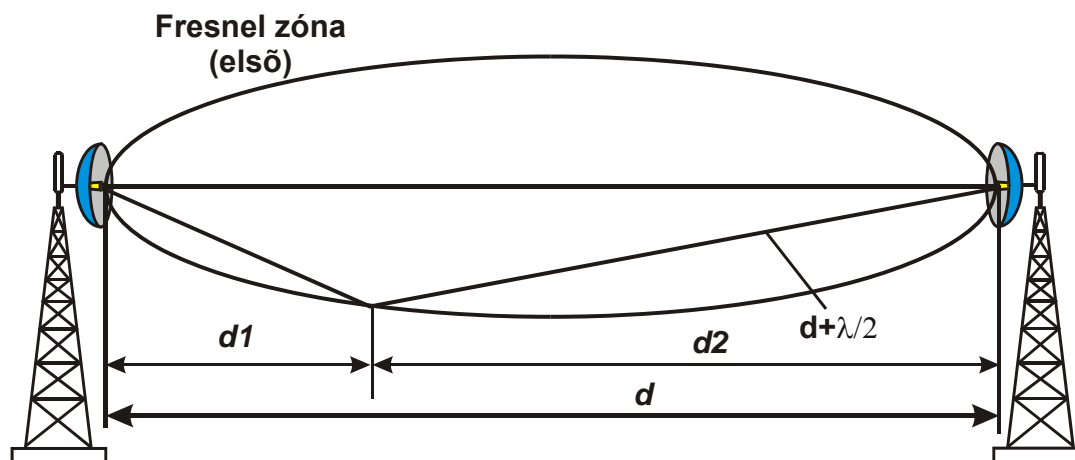
Mindezek hatására a jel a különböző utakon, különböző amplitúdóval és fázissal és különböző időpillanatokban érkezik a vevőantennára. Az egyes reflektáló felületek különböző csillapítással verik vissza beeső jeleket. Ezek a felületek nem „jó antennák”, tehát a reflektált jelek szintje minden esetben alacsonyabb, mint a fő jel (LOS) szintje. Egy háromszög átfogója minden esetben kisebb, mint a két befogó összege, azaz a reflektált jel késve érkezik a vevőantennára, valamint az úthossz különbség miatt eltérő fázissal is.

A vevőkészülék demodulátora ugyanazt a jelet kapja egymás után. Amennyiben nincs kellő szintkülönbség a fő és egyéb úton érkező jelek között, akkor zavar támad a vételben.

Fresnel zónák

Az adó és a vevő antenna között „ d ” távolság van. A tér azon pontjait összegezve, amelyekről reflektált, vagy szóródott jel ugyanolyan úthosszon – szükségyszerűen „ d ”-nél nagyobb – érkezik a vevőantennára, egy ellipszoidot kapunk. Ilyenből kvázi végtelen számút képezhetünk. Ezek között kiemelkedő helyet foglalnak el azok az ellipszoidok, ahol az útkülönbség éppen $n \cdot \lambda / 2$, ezeket nevezzük „Fresnel” ellipszoidoknak. (5. ábra)

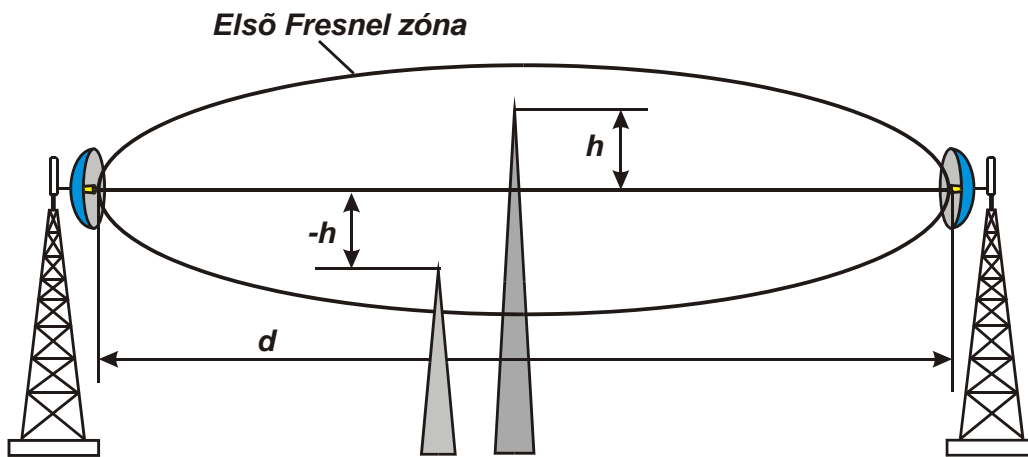
A Fresnel ellipszoidon belül lévő minden akadály Huygens elve szerint egy-egy elemi sugárforrásként szerepel, mégpedig gömbsugárzóként. Az egyenes úton terjedő jelhez képest a reflektált jel $n \cdot \lambda / 2$ -vel hosszabb utat tesz meg. Amennyiben $n < 1$ -nél, akkor a reflektált jel éppen ellenfázisban lesz az egyenes úton terjedő jelhez képest. Az $n=1$ és $n=2$ -höz tartozó Fresnel ellipszoid közötti térrészben lévő akadályról „szóródott” jel viszont ugyanolyan fázisban érkezik, mint az egyenes jel, ezért azt növeli. Az egymás után következő Fresnel zónák hatása gyakorlatilag egymást semlegesíti, emiatt elegendő csak az elsőre koncentrálnunk.



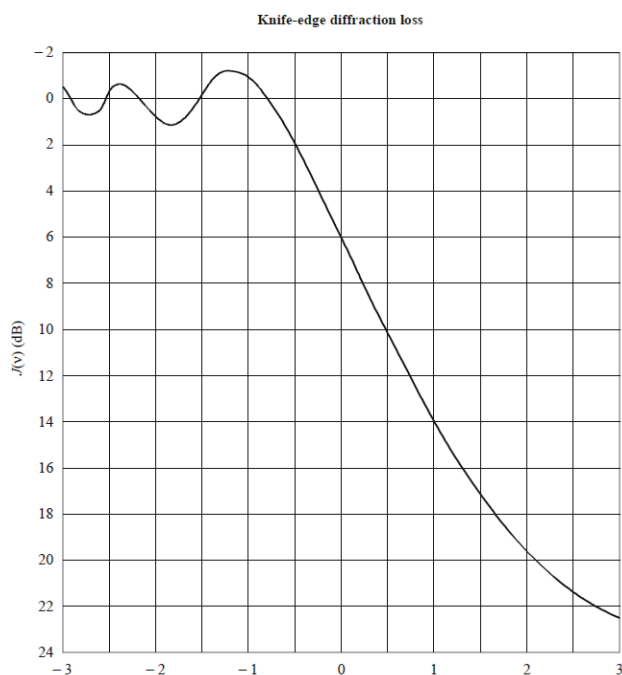
5. ábra. Fresnel zóna

Késél diffrakció

A késél-szerű akadály (az akadály kiterjedése a szakasztávolsághoz képest elhanyagolható), esetén járulékos csillapítás lép fel. A csillapításmenetet mutatja a 7. ábra. A vízszintes tengely h/R_{Fm} -ben van skálázva. A h értéke pozitív, ha a LOS vonal fölé, negatív, ha az alá ér. $h=0$ esetén a csillapítás éppen 6 dB.



6. ábra. Késél akadályok



7. ábra. Késél akadály csillapító hatása

A hullámterjedést befolyásoló tényezők

- Talajreflexió (reflection)
- Többutas terjedés (multipath)
- Atmoszférikus gázok csillapítása (absorption)
- Esőcsillapítás
- „Defókuszálás”
- Troposzférikus szórás (scattering)
- Sugárelhajlás (diffraction)
- Sugártörés (refraction)
- Inhomogén rétegek hatása a sugártörésre
- Az antennáról induló és oda érkező elektromágneses hullámok beesési szögének változása
- Polarizáció elfordulás, a keresztpolarizációs csillapítás csökkenése

2.3. Fading fogalma, fajtái

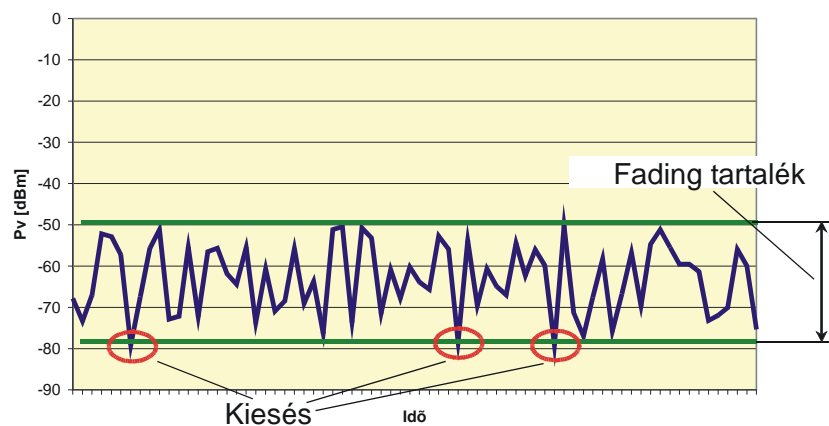
A légkör és a környezet nagyon sok fizikai paramétere befolyásolja a benne haladó mikrohullámú jelet. Ezek a fizikai paraméterek időben folytonosan változnak, függenek:

- A légkör hőmérsékletétől
- Nedvességtartamától
- Légköri áramlásoktól
- A légkörben kialakuló különböző rétegek egymáshoz képesti viszonyától
- Napszaktól
- Évszaktól
- Földrajzi koordinátáktól
- Napfolttevékenység intenzitásától
- Talajfelszín nedvességtartamától
- Növényzettől (pl. lomblevelű fák nyáron és télen)

Mindezen hatások következtében a jelszint állandóan ingadozik, amit FADING-nek nevezünk. A fading két fő fajtáját különböztetjük meg:

- Flat (lapos) fading → széles tartományban ható
- Szelektív fading → frekvencia függő

A vételi szint, normál esetben nagyobb, mint a vevő küszöbszintje. A fading hatására a vételi szint ingadozik. Abban az esetben, amikor a vételi szint a küszöbszint alá csökken, kiesés lép fel, megszakad az összeköttetés. (8. ábra) A vételi szint és a vevő küszöbszintje közötti különbséget nevezzük „fadingtartaléknak”.



8. ábra. Fadingtartalék, küszöbszint

Az ITU-R P.530-12 ajánlás foglalkozik részletesen ezzel a témával: „Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems”

A feladat meghatározni a kiesés valószínűségét (az idő hány százalékában haladja meg a fellépő fading a tervezett fadingtartalék mértékét).

3. Mikrohullámú P-P összeköttetések tervezése

A mikrohullámú P-P összeköttetések tervezése egy összetett feladat, mely sokszor nem végezhető el közvetlen egymás utáni tervezési lépésekkel. Gyakran van szükség a szabadon választható paraméterek módosítása után új tervezési ciklusokra. Természetesen az egyes lépések ettől függően logikai sorrendbe állíthatók.

3.1. Telephelyek (antenna elhelyezés) kiválasztása

Az összeköttetés két végponti telephelyének ismeretében lehet dönteni az antennák elhelyezéséről. Az alapkövetelmény, hogy az összeköttetés megvalósítható legyen, természetesen minimális költségszinten. Legfontosabb szempontok:

- Optikai átlátás biztosítása a két antenna között (tisztan 1. Fresnel zóna)
- Az antennák megfelelő magasságú elhelyezése tornyon, vagy épületen, úgy, hogy az idővel felnövekvő növényzet, később se takarjon.
- Minél kisebb távolság a kültéri és beltéri egységek között.
- Létező saját ingatlan használata, vagy betelepülés más tulajdonú létesítménybe
- Rendelkezésre áll-e megfelelő energiaellátás?
- A telephely és a felszerelendő antennák biztonságos és gyors megközelíthetősége
- Szükség esetén alkalmas hely a kültéri konténer elhelyezésére
- Az antennák, kültéri egységek védelmének lehetősége időjárás, rongálás, eltulajdonítás ellen

3.2. Frekvencia választás

A frekvencia kiválasztása három fő lépésből áll: a frekvenciasáv kiválasztásából, a rádiócsatorna kiválasztásából, majd a polarizáció megválasztásából

Frekvenciasáv választás

- A mikrohullámú összeköttetés jellege szerint
 - Városi környezetben kis szakasztávolság → magasabb frekvencia (nagyobb a sávtelítettség → nagyobb csillapítás → kisebb interferencia)
 - Rural környezetben nagyobb szakasztávolság → alacsonyabb frekvencia (kisebb sávtelítettség → kisebb interferencia)
- A megvalósítandó szakasztávolság függvényében
- A sáv telítettségét figyelembe véve
- Hatósági szabályozásnak megfelelően

Rádiócsatorna választás

- Alapkövetelmény az interferencia mentes vétel
- Hatósági előírás szerint
- Ha van saját blokk, akkor abból célszerű választani

Polarizáció választás:

- Környezettől függően, általában a talajreflexiók okozta fading miatt előnyösebb a vertikális polarizáció
- Az esetek jelentős részében az interferencia viszonyok döntik el, hogy milyen polarizációt lehet használni

3.3. Berendezés, antenna választás

A kiválasztás szempontjai:

- Az összeköttetés kapacitásigénye
- A későbbi bővítés lehetősége
- Ismert, széles körben alkalmazott gyártmány legyen
- Lehetőleg magyar képvisellel rendelkezzen a szállító
- Jó spektrum kihasználás
- A hálózatfelügyeleti rendszerbe integrálható legyen
- Olyan rendszer, amely rendelkezik nxE1 és IP-s interfésszel is
- Meglévő hálózat bővítésénél illeszkedjen a már üzemelőkhöz
- Optimum keresés az antenna nyereség és a használható antenna méret között
- Hazai ipar preferálása (hasonló paraméterek esetén)

3.4. Antennamagasság meghatározása

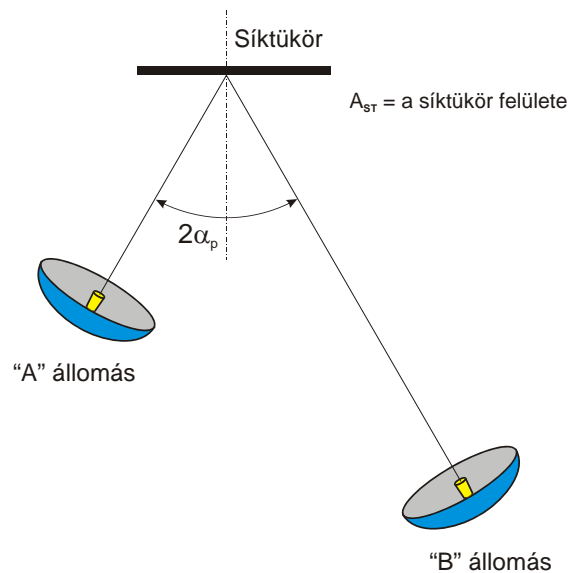
Az antennamagasság meghatározásánál a következőket kell figyelembe venni:

- Az első Fresnel zóna akadálymentességének biztosítása
- Minimális reflektált jel vétele
- Tornyon, vagy épületet lévő szabad hely
- Zavarjelek árnyékolása
- Sugáregészségügyi megfontolások
- Eszközvédelem (rongálás, eltulajdonítás ellen)

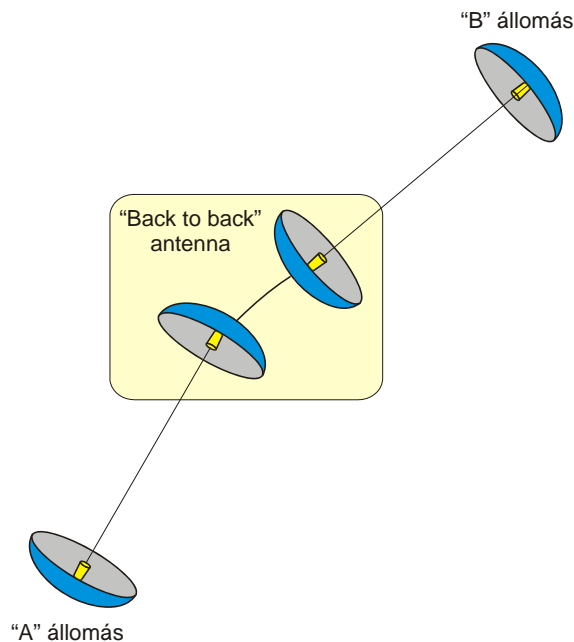
A fentiek teljesítéséhez szükséges az előzetes helyszíni szemle, valamint a két végpont közötti terepszakasz metszetének elkészítése (szükség esetén geodéziai felmérés).

3.5. Speciális antenna elrendezés

A gyakorlatban sokszor előfordul, hogy az összeköttetés szakasztávolsága az adott frekvencián megfelelő, de nincs lehetőség az antennákat úgy elhelyezni, hogy meglegyen az optikai átlátás. Ezen a helyzeten segít a passzív ismétlő állomások használata. A passzív állomások alkalmazásakor a szakasz két részből tevődik össze, amelyek közül az egyik általában nagyon rövid, jellemzően kisebb, mint 100 m. Két megoldás lehetséges: síktükör alkalmazása és az ún. back-to-back, ami két mikrohullámú antenna egymással háttal történő elhelyezését jelenti. A megoldások az alábbi ábrákon láthatók. (9. ábra10. ábra)



9. ábra. Síktükör használata



10. ábra. Back to back antenna

Kis szögek esetén (a két irány által bezárt szögről van szó) a síktükör használata a célszerű, mivel egy sík reflektáló felület kisebb költséget jelent, mint két antenna. Nagyobb szögeknél a back to back antenna elrendezés az előnyösebb, mivel a síktükörnek csak a terjedés irányára merőleges vetülete jelent hatásos felületet. Megfelelő antenna nyereséghez aránytalanul nagyobb felületű síktükörre volna szükség, ami a költségeken kívül statikai (szélterhelés) és elhelyezési problémákat is felvet.

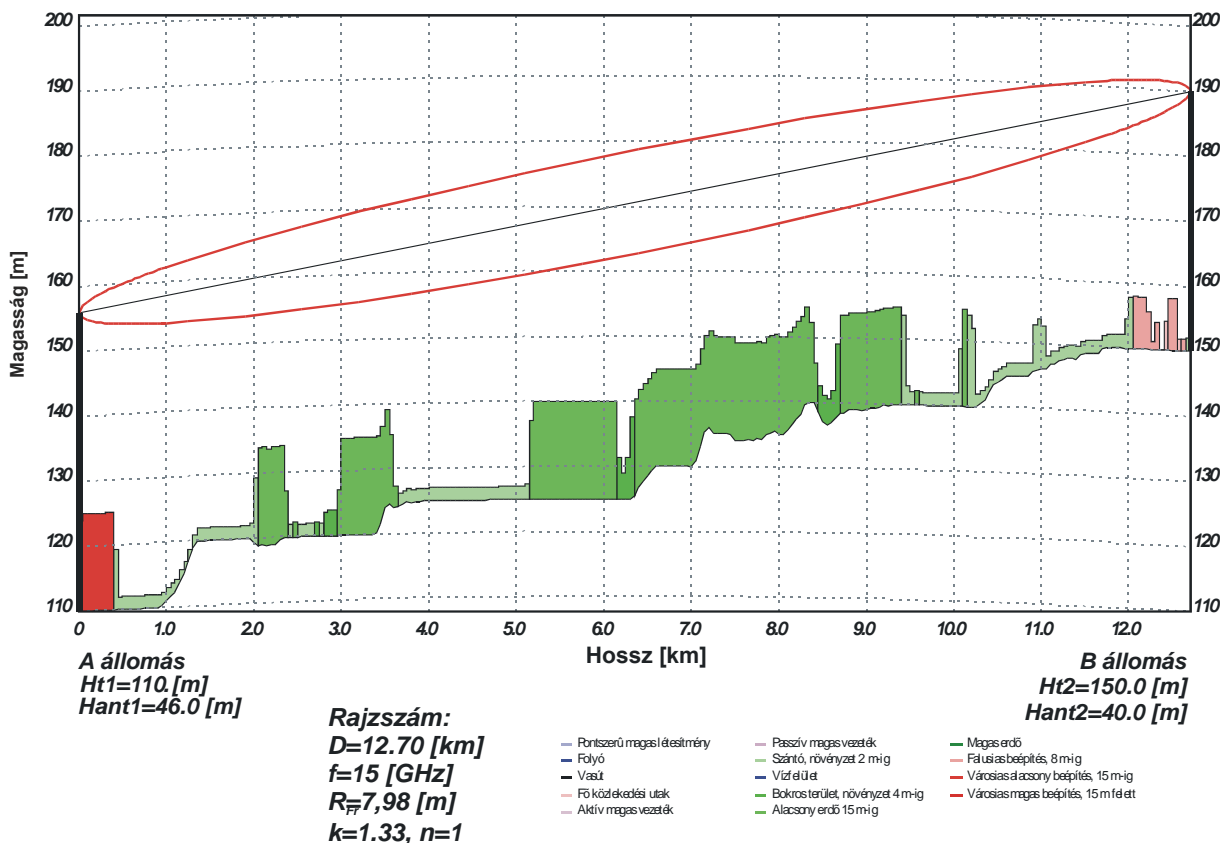
3.6. Terepmetszet készítés

A tervezendő összeköttetés optikai átlátásának (LOS) vizsgálatát minden esetben el kell végezni. Ennek az eszköze a terepmetszet készítés. Alapfeltétel, hogy kellően finom felbontású és naprakész digitális terepmodellel rendelkezünk. A rural területeken ehhez

elégő az 50 x 50 m-es alaprasterű modell. Városi környezetben viszont sok esetben ennél jobb felbontásra van szükség.

A digitális terepmodell egy adott földrajzi koordinátához rendel terepszint magasságot (Magyarországon a Balti tenger feletti magasságot) és a fedettség nagyságát. Manapság már az Internetről le lehet tölteni különböző felbontású digitális terepmodelleket. A közös jellemzőjük ezeknek, hogy vagy nem tartalmazzák a fedettséget, vagy a talajszint magasságát a fedettség nagyságával növelik, de nem adják meg külön a fedettség fajtáját (épület, erdő, stb.). Az esetek jelentős részében kevésbé érdekes, hogy milyen típusú a fedettség, mivel az mindenképpen akadályként jelentkezik, ha az átlátási útvonalba (illetve az 1. Fresnel zónába) esik. A helyzet azért nem ilyen egyszerű. Amennyiben egy interferencia vizsgálatnál azt állapítjuk meg, hogy nincs átlátás a vevőnk és a potenciális zavaró állomás között, mert egy erdő „takar”, (amiről a helyszíni szemlén magunk is meggyőződünk), könnyen bajba kerülhetünk télen, amikor a fák lehullatják a leveleiket és megszűnik az erdő csillapító hatása (pontosabban jelentősen csökken) és megjelenik a nem kívánt interferencia.

Egy általános metszet kialakítását a 11. ábrán tanulmányozhatjuk A vízszintes tengely a távolságot mutatja [km]-ben, a függőleges tengelyek pedig a magasságot jelentik [m]-ben. Az ábra bal szélén található az egyik állomás, ez a szakasz kezdőpontja, a jobb szélén a másik végpont, a kettő között meghúzható egyenes a szakasztávolság. A két állomás antennamagassága azonnal leolvasható, de az aktuális érték külön is fel van tüntetve.



11. ábra. Terepmetszet

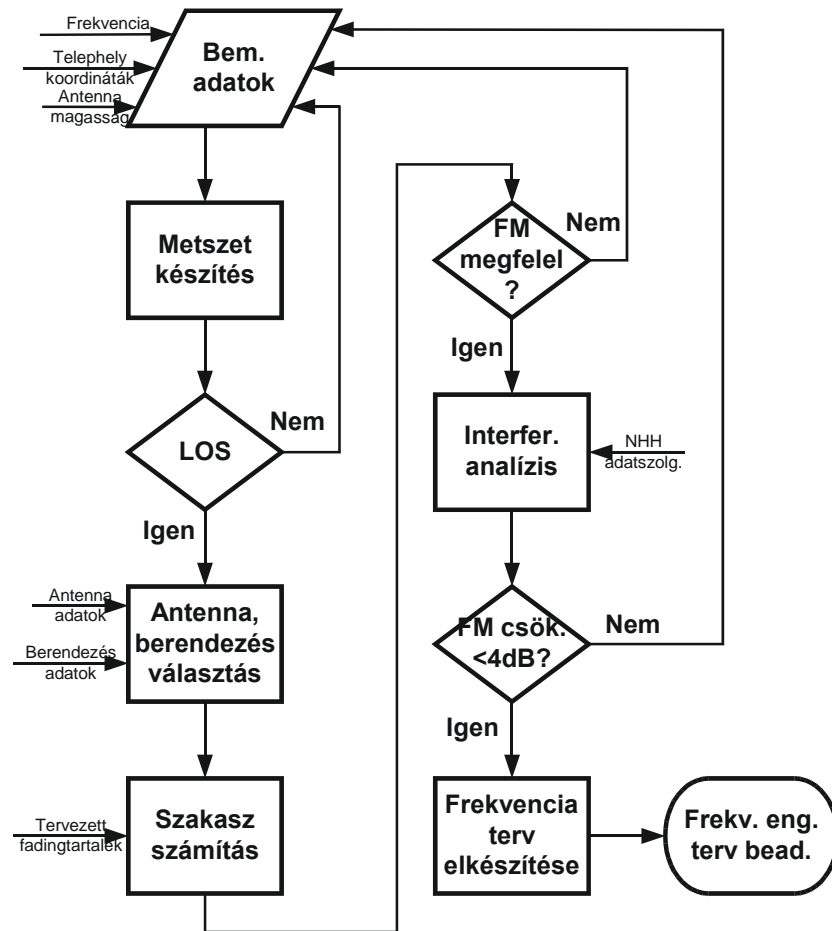
Az alsó burkoló vonal jelenti a talajfelszínt, aminek tengerszint feletti magasságát leolvashatjuk az ábráról. A fedettség nagysága és fajtája szintén látható. Az átlátási (LOS) vonal, ill. az első Fresnel ellipszoid függőleges metszete is fel van tüntetve. Az összeköttetés legfontosabb paramétereit közvetlenül is leolvashatjuk az ábráról.

3.7. Szakasz számítás (Teljesítmény mérleg, Link Budget)

Egy mikrohullámú összeköttetés tervezésének a legösszetettebb része a szakasz számítás. Ezt szokás még „Teljesítmény mérlegnek”, angolul „Link Budget”-nek nevezni.

Szakasz számítás menete

A tervezés kezdetén bizonyos adatok rendelkezésre állnak, míg másokat a tervező dönthet el. Természetesen nagyon ritka az az eset, amikor az összeköttetés célján és a végpontokon kívül szabadon lehet minden paramétert megválasztani. Minden tervezés általában több iterációs ciklus végeredménye. A tervezés menetének nagyon leegyszerűsített folyamatábráját mutatja a 12. ábra.



12. ábra. Egy mikrohullámú szakasz tervezésének erősen leegyszerűsített folyamatábrája

A tervezés minden esetben a bemenő adatok meghatározásával kezdődik. A két állomás helyszíne általában adott. A következő lépés a metszet elkészítése. Itt derül ki, hogy van-e optikai átlátás a két végpont között, vagy sem. Amennyiben nem, akkor természetesen változtatni kell a bemenő adatokon. LOS fennállása esetén választhatunk antennát és berendezést. Ezek ismeretében már neki lehet fogni a szakasz számításnak. A számítás eredménye a fadingtartalék számszerűsítése. Az összeköttetés jellegének megfelelő érték esetén következhet az interferencia analízis. Ellenkező esetben a szakasz számítást módosított paraméterekkel meg kell ismételni, mindaddig, amíg megfelelő eredményt nem kapunk.

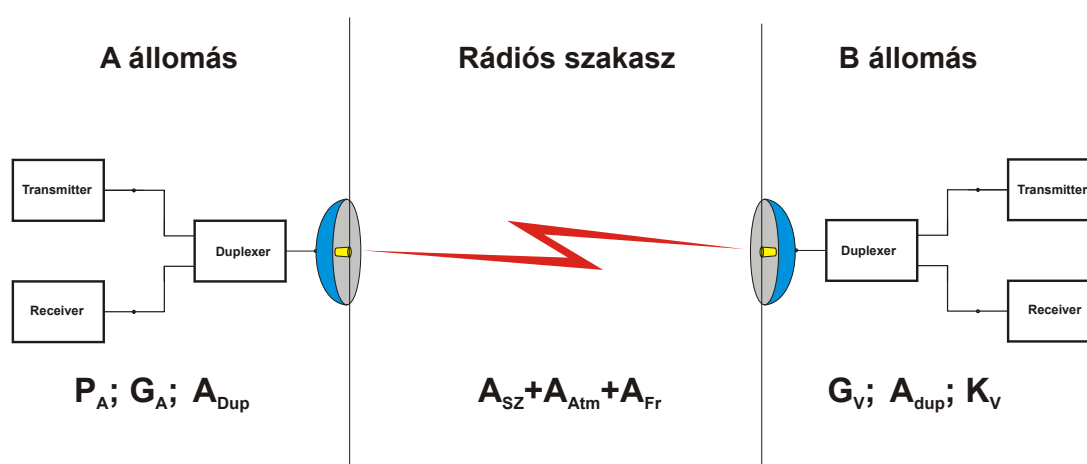
Nagyon fontos, hogy az interferencia analízist két irányban kell elvégezni: egyrészt meg kell vizsgálni, hogy a már üzemelő állomások nem zavarják-e az újonnan létesítendő állomást, másrészt, pedig azt is kell vizsgálni, hogy az új állomás nem okoz-e interferenciás zavart a meglévő állomásoknál.

A meglévő állomások listáját az analízishez szükséges adatokkal együtt a Hírközlési Hatóság (NMHH) biztosítja. Az interferencia analízis elvégzésével kiderül, hogy nem csökkent-e az előírt mértéknél jobban a fadingtartalék.

Ezek után már csak egy fontos lépés van hátra a tervezési folyamatban: el kell készíteni a „Frekvencia engedélyezési tervet és beadni a Hírközlési Hatósághoz.

Szakasz számítás elemei

A szakasz számítás elemei a 13. ábra láthatók.



13. ábra. A szakasz számítás elemei

Az egyes paraméterek jelentése:

P_A = az „A” állomás kimenő teljesítménye

G_A = az adóantenna nyeresége

A_{DUPA} = az adóoldali duplexer csillapítása (amennyiben külön van paraméterezve)

A_{SZ} = szabadtéri csillapítás

A_{Atm} = atmoszférikus gázok csillapítása

A_{Fr} = részben takart Fresnel zóna többletcsillapítása

G_V = vevőantenna nyeresége

A_{DupV} = vevőoldali duplexer csillapítása

K_V = vevő küszöbszint

Általános esetben az adó és vevő paramétere mellett megadják a duplexer jellemzőit is. A mai modern mikrohullámú rendszereknél viszont már az antenna bemeneti pontjára vonatkoztatva adják meg a kimenő teljesítményt, illetve a zajtényezőt és érzékenységet. Még léteznek olyan régi rendszerek, ahol a duplexer kimenete és az antenna között még egy tápvonalszakasz is található. A 13. ábra tömbvázlatán eltekintettünk ezektől a korszerűtlen megoldásoktól.

A szakaszcsillapítást a következőképpen kapjuk:

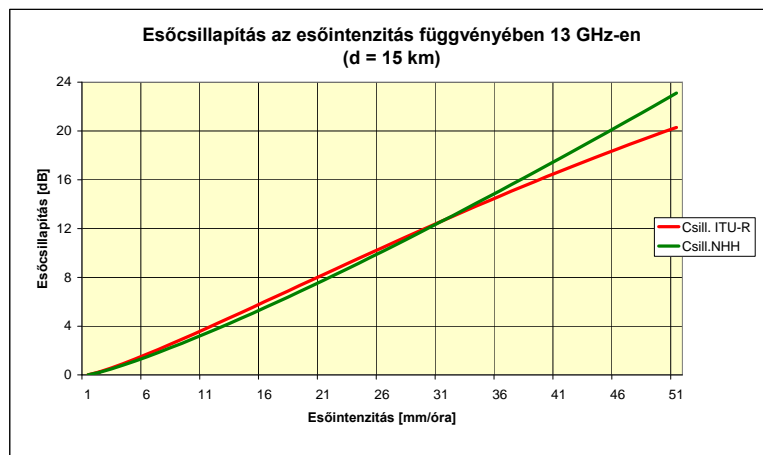
$$A_{\text{szak}} = A_{\text{SZ}} + A_{\text{Atm}} + A_{\text{Fr}} - G_{\text{A}} + A_{\text{DupA}} - G_{\text{V}} + A_{\text{DupV}} \text{ [dB]}$$

A vételi teljesítmény innen már egyszerűen adódik:

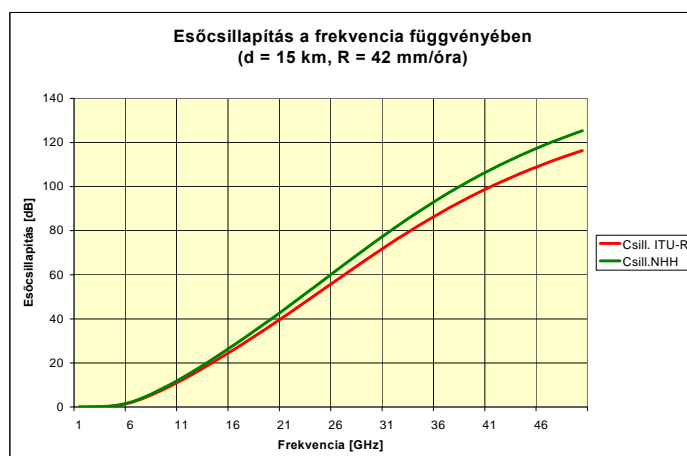
$$P_{\text{V}} = P_{\text{A}} - A_{\text{szak}} \text{ [dBm]}$$

Esőcsillapítás

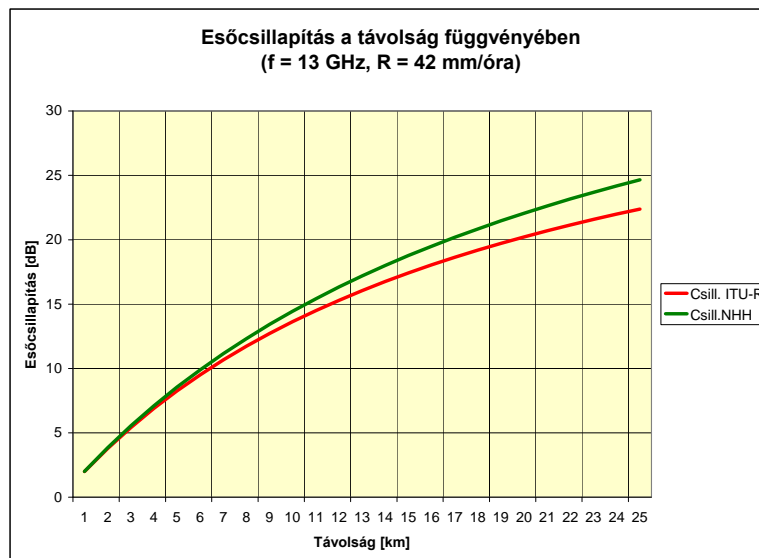
10 GHz frekvencia fölött az esőcsillapítás válik döntővé, a különböző, a terjedést befolyásoló tényezők közül. Ez az érték függ a frekvenciától, a szakasztávolságtól, a homogén esőtávolságtól és a földrajzi elhelyezkedéstől függő esőintenzitástól. A képletekben szereplő egyes paraméterek táblázatosan, vagy diagramon vannak megadva. Az idő 0,01 %-ában fellépő esőcsillapítás mértéke a Rec. ITU-R P.838-3 szerint számolható. (Az ehhez tartozó esőintenzitást Magyarországon 42 mm/órával számoljuk) Ez egy viszonylag bonyolult képlet, melyet itt nem részletezünk. A számításhoz megfelelő számítógépes programok állnak a tervező rendelkezésére.



14. ábra. Esőcsillapítás az esőintenzitás függvényében



15. ábra. Esőcsillapítás a frekvencia függvényében



16. ábra. Esőcsillapítás a távolság függvényében

Fading tartalék meghatározása

A fading tartalék meghatározása a következőképpen történik:

- A szakaszcsillapítás (A_{szak}) kiszámítása
- Vételi jelszint meghatározása:

$$P_v = P_A - A_{szak} \text{ (dBm)}$$

- Bruttó fading tartalék (a vételi szint mínusz vevő küszöbszint):

$$FM_{Br} = P_v - K \text{ (dB)}$$

ahol K a vevő küszöbszint dBm-ben

- Nettó fading tartalék : a bruttó fading tartalék mínusz az interferencia által okozott fading tartalék csökkenés az alábbiak szerint

$$FM_{Net} = FM_{Br} - FM_{loss} \text{ (dB)}$$

ahol FM_{loss} az összes zavaró adó által okozott fading tartalék csökkenés

(ld. a következő részt : Interferencia analízis)

A szakaszunk akkor működik jól, ha a gyakorlatban fellépő fading nem éri el a fent kiszámolt nettó fadingtartalék értékét. Ennek biztosítása minden körülmények között igen költséges és nem is szükséges. Ehelyett a QoS-ben arra vállalunk garanciát, hogy adott időszak (egy év, egy hónap) alatt a kisési idő egy előre meghatározott érték alatt marad.

3.8. Interferencia analízis

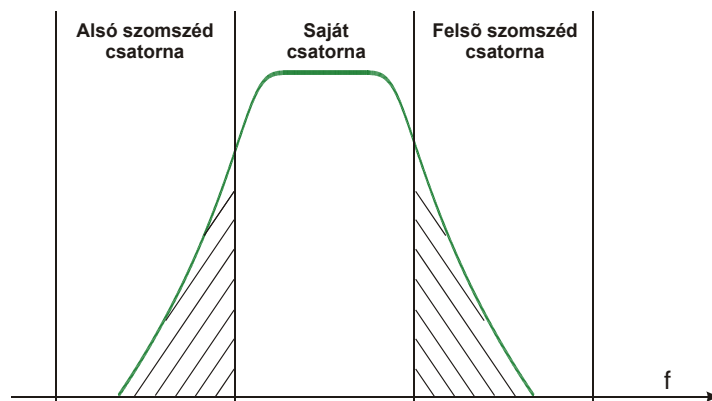
Definíció: interferenciának nevezzük a vételi sávba eső, más állomásoktól származó, nemkívánatos zavaró jeleket. Számolás szempontjából két esetet különböztetünk meg:

- Az új állomást a környezetében már üzemelő állomások zavarhatják
- A már üzemelő állomásokat zavarhatja az új állomás

Szigorú hatósági előírás létezik a zavarmentes működés garantálása érdekében:

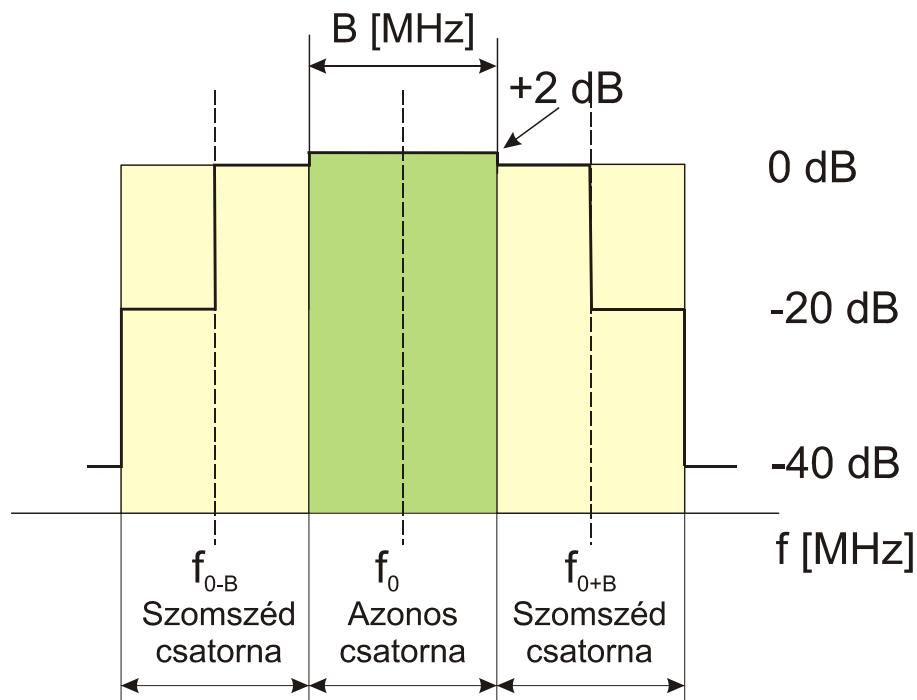
- Egy állomástól származó zavarjel által okozott fadingtartalék csökkenés nem lehet nagyobb, mint 0,4 dB.
- Az összes zavarjel együttes hatására a fadingtartalék csökkenés maximum 4 dB lehet.

Interferenciát nemcsak a saját csatornában üzemelő más állomás okozhat, hanem a szomszéd csatornában üzemelő is. Ennek oka, hogy a vevők szűrőkarakterisztikája nem ideális téglalap alakú, hanem véges meredekségűek. Ugyanez mondható el az adók spektrumáról is. A spektrum burkolója nem ideális téglalap, hanem a saját sávon kívül is sugároz valamennyi teljesítményt. A viszonyokat a 17. **ábra** szemlélteti. A két vonalkázott terület jelenti az interferencia fellépésének a lehetőségét, ha a szomszéd csatornában működik állomás.



17. **ábra.** Csatorna elhelyezkedés és szűrő karakterisztika

A pontos számolás érdekében szükséges a szűrő karakterisztika tényleges menetének, ill. az adó spektrumának ismerete. Az esetek döntő részében ezek nem állnak a tervező rendelkezésére. Ebben az esetben közelítő megoldásokat kell használni. A 18. **ábra** látható a Hírközlési Hatóság ajánlása az interferenciás zavarok számításához. A diagram azt mutatja, hogy az adott frekvenciasávba eső zavarjeleket milyen amplitúdóval (teljesítménnyel) kell figyelembe venni.



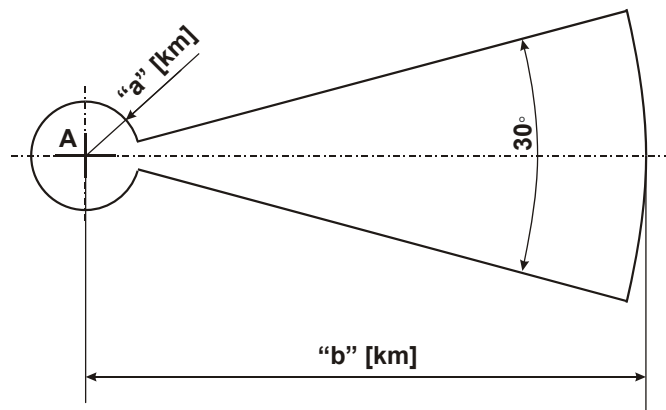
18. ábra. A Hírközlési hatóság ajánlása interferencia számításhoz

Az interferencia analízis folyamata:

- Interferenciás zavar szempontjából szóba jöhető állomások kiválasztása (térben és frekvenciában)
- Az új állomás és a potenciális zavaróállomások egymáshoz képesti pozícióinak kiszámítása
- Adó és vevő szögvédelmek meghatározása
- Polarizációs védelmek meghatározása
- Minden egyes zavaró adó által keltett interferenciás jel nagyságának meghatározása
- Ha valamelyik zavarjel az eredeti fadingtartalékot 0,4 dB-nél nagyobb mértékben csökkenti, akkor további részletes analízis következik
- Az összes zavarjel teljesítményét összegezve az eredmény nem lehet 4 dB-nél nagyobb fadingtartalék csökkenés
- A vizsgálatot mindkét irányban, új állomás → üzemelő állomások és üzemelő állomások → új állomás irányban is el kell végezni.
- Szükség esetén nemcsak az első, hanem a második szomszéd csatornával is számolni kell

A hatósági ajánlás szerint azok az állomások tekinthetők potenciálisan zavaró, ill. zavart állomásnak amelyek az új állomás szempontjából az un. „kulcslyuk ábra” területére esnek. (Lásd a 19. ábra és a 20. ábra)

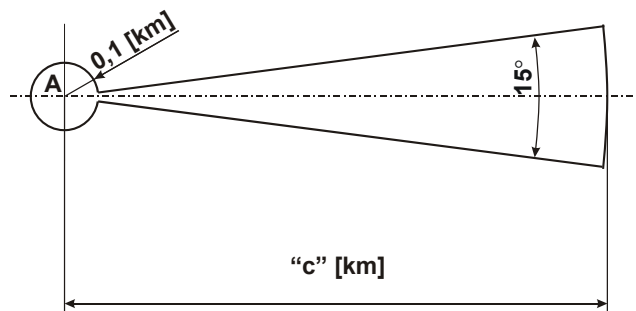
Kulcslyuk ábra
azonos csatornás
zavaró adókhöz



19. ábra. Kulcslyuk ábra azonos csatornás zavaró adókhöz

A kiválasztási eljárást egyszerűsíti, ha az állomás köré rajzolható „b” és „c” sugarú körökön belüli állomásokkal számolunk. Természetesen ez csak gépi számolás esetén járható út, mivel ilyenkor jelentősen megnövekszik a figyelembe veendő állomások száma, pl. Budapesten több ezer is lehet.

Kulcslyuk ábra
szomszéd csatornás
zavaró adókhöz



20. ábra. Kulcslyuk ábra szomszéd csatornás zavaró adókhöz

3.9. Fadingtartalék meghatározása

A fadingtartalék meghatározása a következőképpen történik:

- A szakaszcsillapítás (A_{szak}) kiszámítása
- Vételi jelszint meghatározása:

$$P_V = P_A - A_{\text{szak}} \text{ [dBm]}$$

- Bruttó fadingtartalék a vételi szint mínusz küszöbszint:

$$FM_{\text{Br}} = P_V - K \text{ [dB]}$$

Ahol K = vevő küszöbszint [dBm]-ben

- Nettó fadingtartalék: a bruttó fadingtartalék mínusz az interferencia okozta fadingtartalék csökkenés

$$FM_{Net} = FM_{Br} - \Sigma FM_{Loss} \text{ [dB]}$$

Ahol ΣFM_{Loss} = Az összes zavaróadó okozta fadingtartalék csökkenés dB-ben

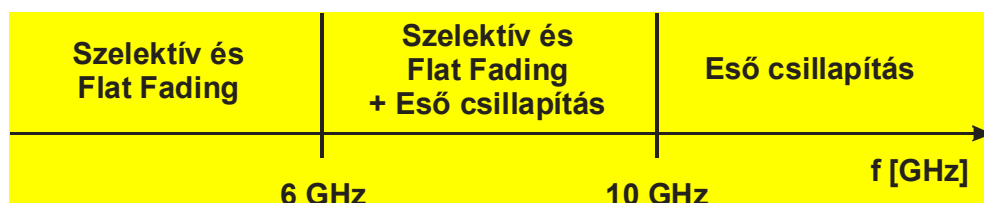
A szakaszunk akkor működik jól, ha a gyakorlatban fellépő fading nem éri el a fent kiszámolt nettó fadingtartalék értékét. Ennek biztosítása minden körülmények között igen költséges és nem is szükséges. Ehelyett a QoS-ben arra vállalunk garanciát, hogy adott időszak (egy év, egy hónap) alatt a kiesési idő egy előre meghatározott érték alatt marad.

3.10. Fading és a kiesés valószínűsége

A nettó fadingtartalék ismeretében kerülhet sor a kiesés valószínűségének kiszámítására. Akkor következik be kiesés (terjedési okokból), ha a fellépő fading meghaladja az előzőekben meghatározott fadingtartalékot. A számolás két lépésben történik:

- Az idő 0,01%-ban várható fading nagyságának meghatározása
- Annak kiszámolása, hogy a várható fading az idő mekkora %-ban okoz kiesést

A várható fading meghatározásánál elvileg minden fajta fading mechanizmussal számolni kellene. A gyakorlat azt mutatja, hogy 6 GHz alatt a szelektív és a Flat (lapos) fading a meghatározó, mellette az esőcsillapítás elhanyagolható. 10 GHz felett pedig az esőcsillapítás válik dominánssá. A két frekvencia között érdemes mindkét lehetőséggel számolni.



21. ábra. Domináns fadingfajták a frekvencia függvényében

A várható fading pontos kiszámolása Rec. ITU-R P530-13, vagy más, hasonlóan bonyolult modell alapján meglehetősen számításgépes feladat. A gyakorlatban közelítő megoldások terjedtek el, amelyeket kellő körültekintéssel alkalmazva az átlagos összeköttetéseknél megbízható eredményeket kapunk. A szokásostól eltérő viszonyok fennállása esetén, pl. extrém nagy szakasztávolság, már mindenképpen indokolt elvégezni a részletesebb analízist.

Említésre érdemes két sokat használt, közelítő modell:

„Morita modell”

$$p = 1,4 * 10^{-8} * f * d^{3,5} * 10^{\frac{-FM_{Net}}{10}}$$

Mely a kiesés valószínűségét adja, FM_{Net} fadingtartalék esetén.

f = frekvencia

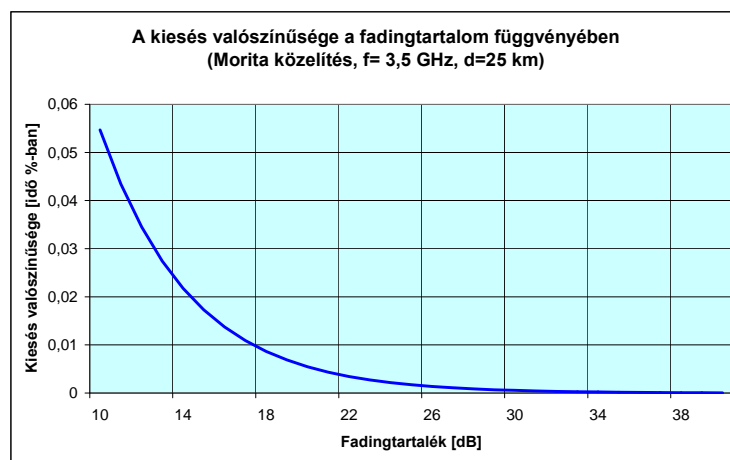
d = szakasztávolság

„Barnett – Vigants modell”

$$p = 1,5 * 10^{-7} * f * d^3 * 10^{\frac{-FM_{Net}}{10}}$$

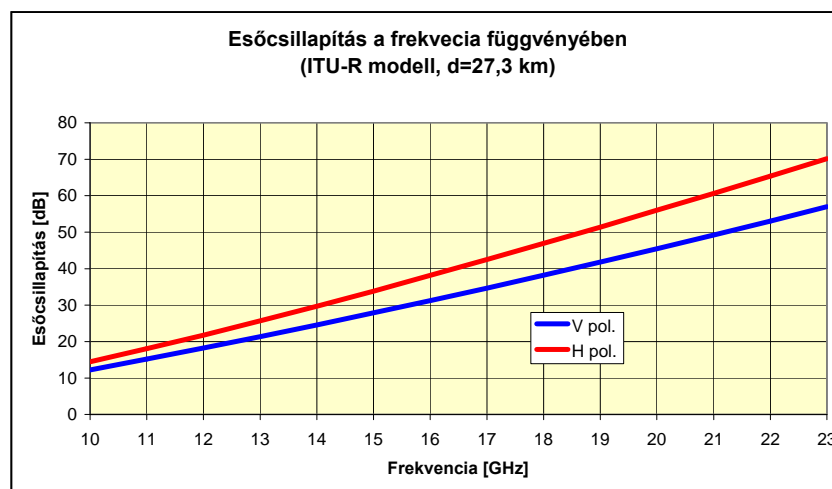
A két modell között nem jelen-tős a különbség, Morita esetén a fading valószínűség erősebben függ a szakasztávolságtól.

A fadingtartalék függvényében a kiesés valószínűségének menetét a láthatjuk az ábrán

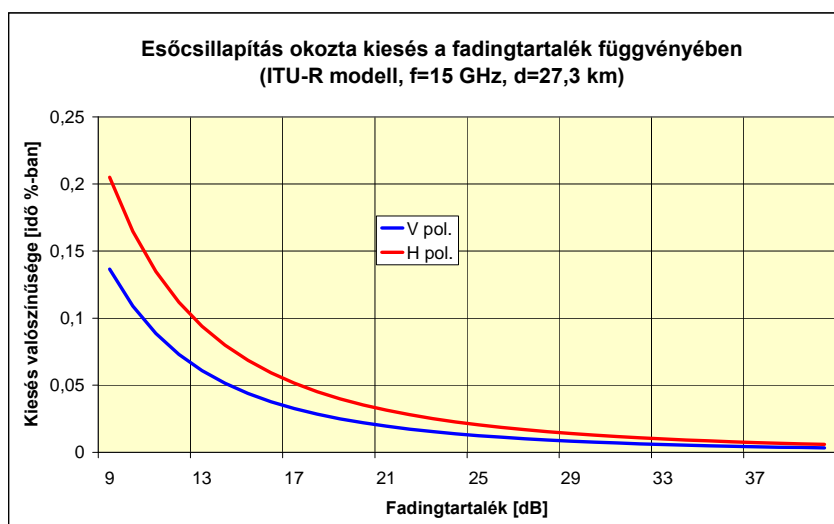


21. ábra. A kiesés valószínűsége a fadingtartalék függvényében

Az ITU-R modell alapján az esőcsillapítás hatását a vételi viszonyokra mutatják a következő ábrák.



22. ábra



23. ábra

Két fontos következtetést lehet levonni:

- A vertikális polarizáció használata előnyösebb
- Minél magasabb a frekvencia, annál rövidebb szakasztávolság valósítható meg

3.11. Megbízhatóság

Egy összeköttetés jóságát alapvetően a megbízhatósága határozza meg. A megbízhatóság számszerűsítésére szolgáló legfontosabb fogalmak:

- Használhatóság (A, rendelkezésre állás, Availability)
- Használhatatlanság (U, Unavailability)
- Hibamentes működés valószínűsége (Reliability)
- MTBF (Mean Time Between Failures: két meghibásodás között eltelt átlag idő)
- MTTR (Mean Time to Recovery: átlagos javítási idő)
- DTR (Down Time Ratio, kiesési időarány)

A rendelkezésre állás:

$$A = \left(1 - \frac{T_1 + T_2 - T_b}{T_e} \right) 100 \text{ [%]}$$

Ahol

- A: rendelkezésre állás (%-ban)
- T₁: teljes kiesési idő az egyik irányban [perc]
- T₂: teljes kiesési idő a másik irányban [perc]
- T_b: kétirányú kiesési idő [perc]
- T_e: a vizsgált időtartam [perc]

Kiesés két okból fordul elő:

- Terjedési okokból
- Berendezés meghibásodásából

A berendezés meghibásodása → MTBF

A javítási idő alatt nincs működés → MTTR

Amennyiben az MTBF berendezésekre külön van megadva:

$$\frac{1}{\text{MTBF}_{\text{eredő}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\text{MTBF}_i}$$

Terjedés miatti kiesési idő egy évre vonatkozóan :

$$T_{\text{terj}} = 60 \frac{8760p}{100} \text{ [perc]}$$

ahol p a terjedésből adódó kiesési valószínűség

Berendezés meghibásodásból adódó kiesési idő:

$$T_{\text{ber}} = 60 \frac{8760\text{MTTR}}{\text{MTBF}} \text{ [perc]}$$

Az eredő rendelkezésre állás:

$$A = 100 \left(1 - \frac{T_{\text{terj}} + T_{\text{ber}}}{60 * 8760} \right) \text{ [idő \%]}$$

4. Pont – Multipont rendszerek

4.1. Pont – Multipont rendszerek felépítése

A P-MP (pont – multipont, másképpen pont – többpont) rendszerek többféle topológiát használnak:

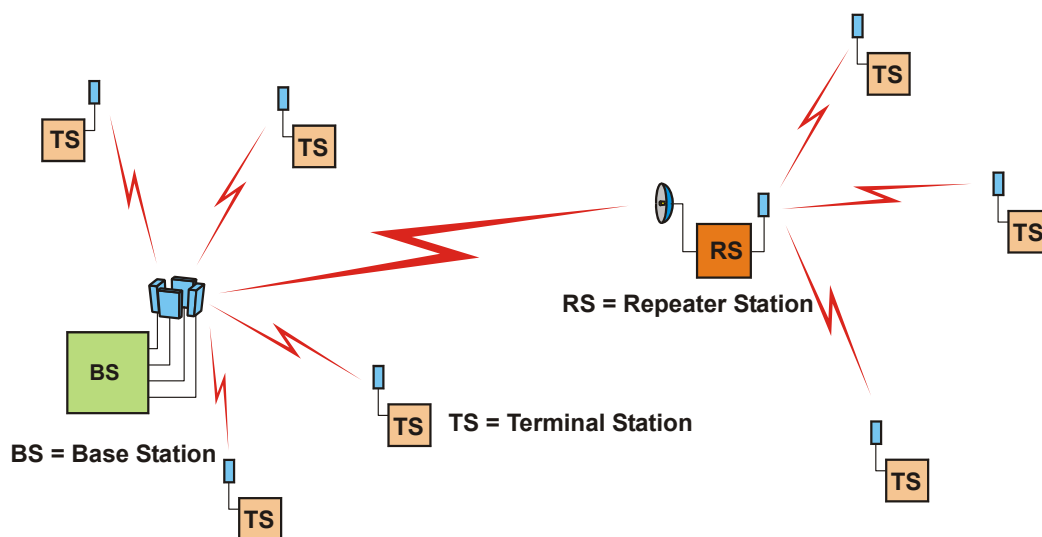
P-MP → Csillagpontos kialakítás: az egyes végpontok csak a központi állomáson keresztül kommunikálnak egymással

Mesh → A hálózat egyes állomásai közvetlenül kapcsolódnak egymáshoz

Backhaul → A felhordóhálózati célra történő alkalmazás. Gyakorlati jelentősége az un. „self back-hauling”-nak van, amikor a kapacitás felét backhaul, másik felét P-MP célra használjuk.

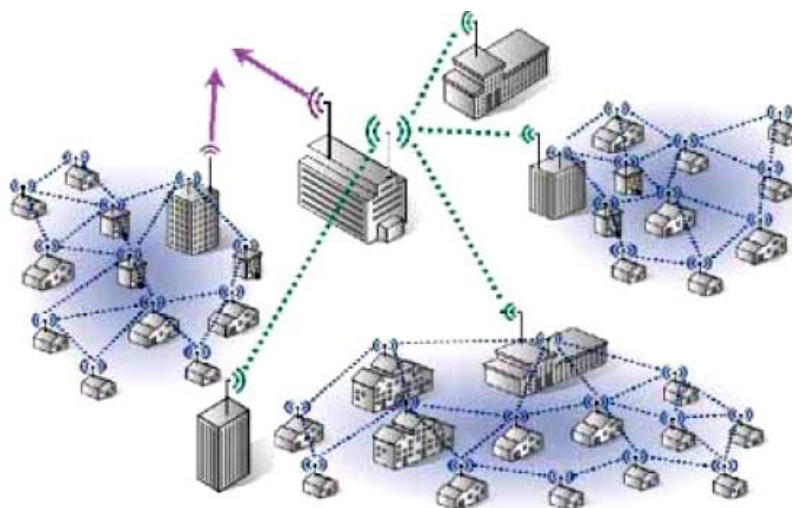
Egy csillagpontos P-MP rendszer általános elvi kialakítása látható a 24. ábrán A BS

bázisállomás (BS) tartja a kapcsolatot a terminálokkal (TS) és az ismétlő állomással (RS). Az ismétlő állomás a bázisállomás felé, mint terminál látszik, de a saját termináljai számára bázisállomásként funkcionál.



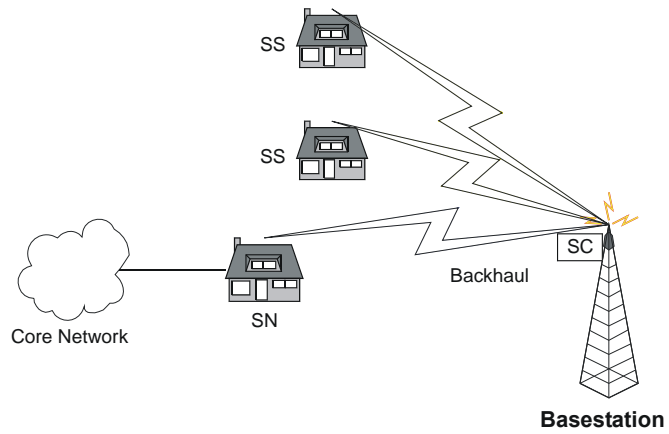
24. ábra. Csillagpontos P-MP rendszer topológiája

Mesh topológia elrendezése látható a 25. ábrán. Ennek a kialakításnak a lényege, hogy az egyes terminálok nemcsak a bázisállomással, hanem egymással is kommunikálnak. Lehet, pl. egyes terminálokból külön csoportokat képezni. Ennek a struktúrának az előnye, hogy adott esetben olyan területeken is képesek működni, ahol eredetileg nem volt lefedettség. Tipikus példa egy katasztrófa helyzet ember nem lakta területen. A készenléti szolgálatok használják az ilyen típusú P-MP rendszereket.



25. ábra. Mesh elrendezésű P-MP rendszer vázlata

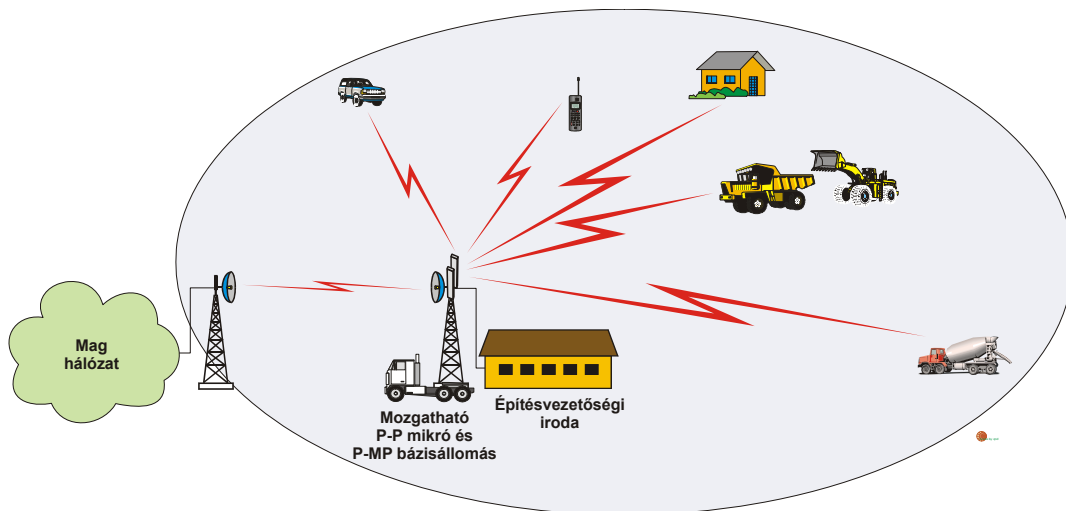
Self backhauling olyan P-MP rendszer (lásd a 26. ábrát) ahol a bázisállomás kapacitásának a fele a terminálokat szolgálja ki, a másik fele pedig „felhordó hálózatként” szerepel.



26.. ábra. Self backhauling

A P-MP rendszereket az állomások fix, vagy változó telepítési helyszínei szerint három csoportba sorolhatjuk:

- Fix telepítésű
- „Nomadikus” (27.ábra)
- Mobil rendszerek



27. ábra. Példa nomadikus P-MP alkalmazásra

4.2. Követelmények a P-MP rendszerekkel szemben

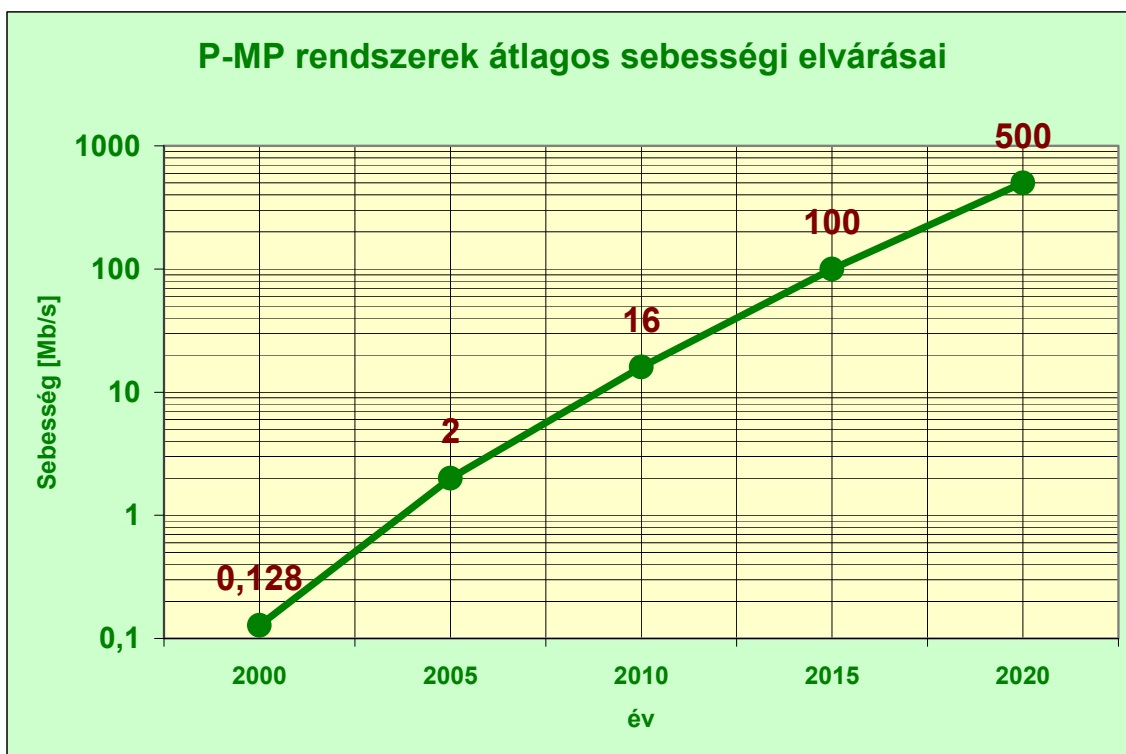
A pont – multipont rendszerekkel szemben a követelmények részben hasonlóak, mint a P-P rendszereknél, részben viszont a speciális alkalmazások miatt azoktól eltérő.

Átviteli sebesség

A kommunikációs sebességigények folyamatosan nőnek, az egységnyi információ továbbításának költségei, pedig még gyorsabban csökkennek. Ez utóbbi teszi lehetővé az

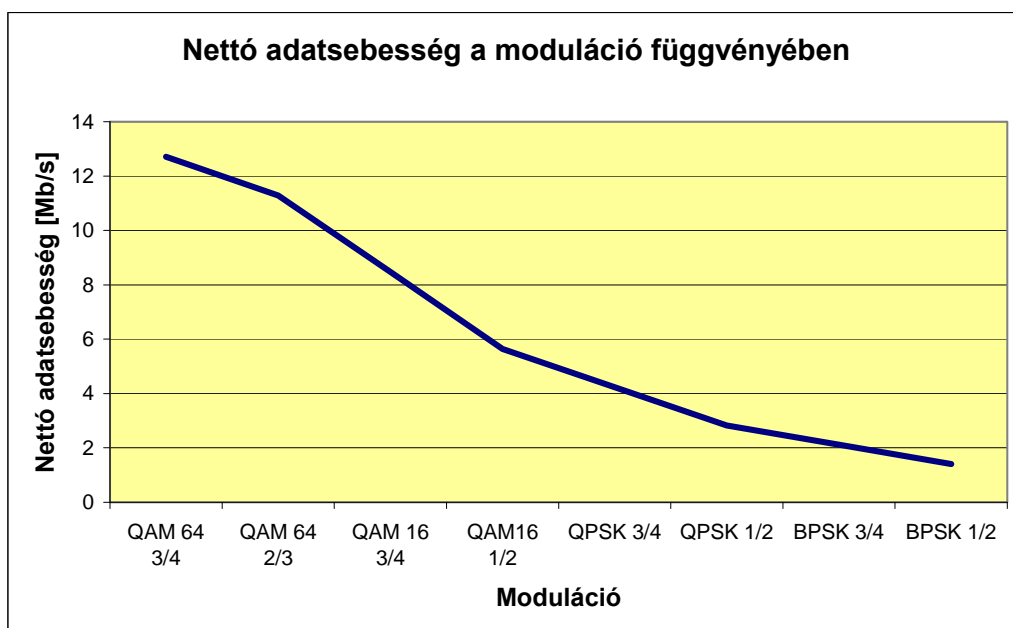
igények kielégítését.

A P-MP rendszerekkel szembeni sebességigények változását láthatjuk a 28.ábrán. 2000-ben még a GSM-en kívül csak fix telepítésű P-MP rendszerekről beszélhettünk, 2005-től viszont már egyre inkább a mobil rendszerek vették át a főszerepet.



28. ábra. A P-MP rendszerekkel szembeni sebességigények változása

A feladat tehát a növekvő sebesség igények egyre alacsonyabb költségszinten történő kielégítése. A sebesség növelésének erős korlátot szab a rendelkezésre álló véges sávszélesség. A megoldás: olyan modulációt kell választani, amelynél magas az egységnyi sávszélességre eső továbbítható információ mennyisége [bit/s/Hz]. Minél több „állapotú” a moduláció, annál nagyobb az egységnyi sávszélességen átvihető információmennyiség. A 29.ábrán egy példát láthatunk egy P-MP rendszer esetén, hogyan függ a nettó adatsebesség a moduláció fajtájától, ill. a hibajavító kódolástól.



29. ábra. Egy P-MP rendszer nettó adatsebessége a moduláció függvényében

Látható, hogy a több állapotú modulációval megnövelhetjük az adott sáv szélességen átvihető információ mennyiségét, ezzel viszont a vevő demodulátor érzékenysége is csökken, ami az áthidalható távolságot csökkenti.

4.3. Területi lefedettség tervezése

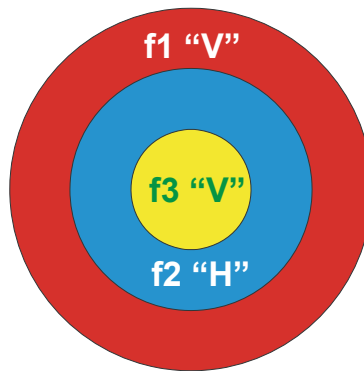
A P-MP rendszerek tervezésénél általában területi lefedést kell számítani. (Egyes esetekben azonban szükség lehet p-p típusú számításra is, vagy kis előfizetős szám esetén csak p-p számításra van szükség). A területi lefedés számításához megfelelő számítógépes programok állnak rendelkezésre.

A tervezésnél meghatározó az előfizetői sűrűség, ami erősen függ a település jellegétől. A nagyvárosokban nagyon magas, míg a rural területeken igen alacsony. Az ellátás biztosítása is ennek megfelelő kell legyen. A nagyvárosokban kis területen kell nagyon sok előfizetőt kiszolgálni, ezzel szemben a rural területeken kevés előfizető található és azok is viszonylag távol vannak egymástól.

A helyzetet nehezíti, hogy a P-MP rendszerek részére fenntartott frekvenciasáv véges, melyet több szolgáltató között kell megosztani. Nincs más megoldás, minthogy ugyanazt a frekvenciát (rádió csatornát) többször kell használni, hogy az összes előfizetőt ki lehessen szolgálni.

Ezt csak jól átgondolt struktúrában lehet megvalósítani! A megoldás: cellás rendszerek alkalmazása. Az egyes cellák egymáshoz kapcsolódnak, együtt fedik le az ellátandó területet. Attól függően, hogy milyen sűrűn vannak az előfizetők, lehet körsugárzó, vagy több szektorból álló cellákat létrehozni.

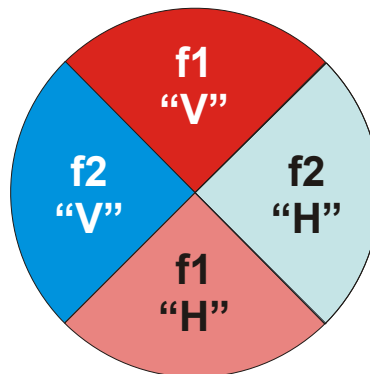
A 30. ábrán három rádiócsatornát, f1, f2 és f3 használó, körsugárzó szektort láthatunk. Célszerű ebben az esetben a polarizációkat úgy megválasztani, hogy a (frekvenciában) szomszédos csatornák ellentétes polarizációt használjanak.



30. ábra. Körsugárzó cella elrendezés

A 31.ábrán egy négy szektorból álló cellát mutat. Figyeljük meg, hogy bár egyharmaddal kisebb sávzélességet használ (csak két csatornát az előző hárommal szemben), az eredő kapacitás pontosan egyharmaddal nagyobb, mint a körsugárzó antennákat használó celláé. Az egymáshoz képest 180° -al eltérő szektorok ugyanazt a frekvenciát (csatornát) használják, csak a polarizáció ellentétes.

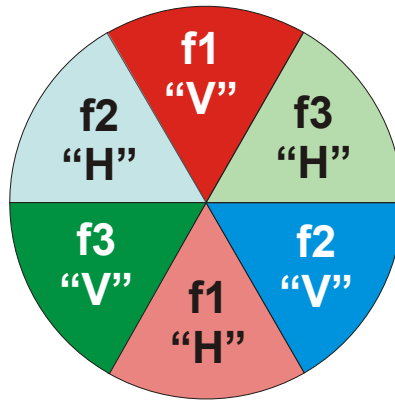
A nagyobb kapacitás mellett még egy előnye is van ennek az elrendezésnek. A körsugárzó antennák nyeresége jóval kisebb, mint a szektorsugárzóé, ezért a szektorsugárzókat használó cellák hatótávolsága, ugyanolyan kimenő teljesítmény esetén nagyobb, mint azoké a celláké, amelyek körsugárzót használnak.



31. ábra. Négy szektoros cella elrendezés

Tovább növelhetjük a cellánk kapacitását – és egyúttal a hatótávolságát – ha nem két, hanem három rádió csatornát használunk, miáltal a szektorok száma hatra növekszik. (Lásd az 32. ábrát). Ennél az elrendezésnél megfigyelhető, hogy az egymás melletti cellák polarizációja, ugyanúgy ahogy a 180° -al eltérőeknél, ellentétes. Ez tovább csökkenti az esetlegesen fellépő interferenciás zavar valószínűségét.

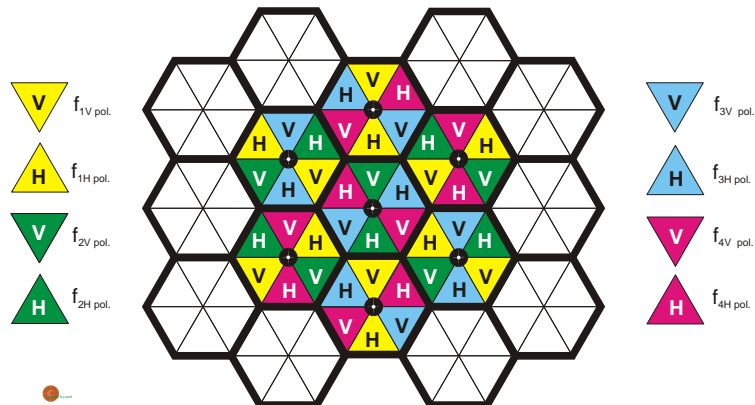
A gyakorlatban ritkán használnak hat szektornál többet tartalmazó cellát. A mobil rendszereknél értelemszerűen nem lehet kétféle polarizációt használni (nem írhatjuk elő a felhasználóknak, hogy milyen szögben és irányban tartsák a készülékét), ezért ott általában három szektoros cellákat használnak.



32. ábra. Hat szektoros interferenciamentes cella

A következő feladat, hogy a fentebb bemutatott cellákból hogyan lehet egy adott területet lefedni úgy, hogy az egymás mellett lévő cellák, ill. az azok részét képező szektorok között ne lépjen fel interferencia. Ilyen megoldást mutat a 33. ábra, ahol hat szektoros cellákkal fedünk le tulajdonképpen tetszés szerinti nagyságú területet.

Itt nemcsak az egyes cellák között, hanem cellán belül is fennáll, hogy minden szektor szomszédja más csatornán üzemel és ellentétes a polarizációja. Így még kisebb az interferencia fellépésének az esélye. A 60° -os antennák ($6 \times 60^\circ = 360^\circ$) használata miatt a hatótávolság is növekszik a négyszektoros megoldáshoz képest. A gyakorlatban használt cellás rendszereknél ez a maximális kapacitású.



33. ábra. Hat szektoros cellákból álló P-MP rendszer

5. Sugáregészségügyi megfelelés

Az elektromágneses sugárzás hatása az élő szervezetre régóta kutatás és nem utolsósorban viták tárgya. A cél, hogy minimalizáljuk ezt a sugár-terhelést. Ennek érdekében hatósági előírás szabályozza az elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeit (63/2004sz. ESsCsM rendelet). A 2-300GHz frekvenciatartományban az ekvivalens síkhullám teljesítménysűrűsége nem lehet nagyobb, mint 10W/m^2 a telepítendő állomás azon körzetében ahol személyek a normál életvitel során tartózkodhatnak. Minden frekvencia

engedélyezési tervben számítással kell igazolni a fenti követelmény betartását.

Ki kell számolni, hogy az antenna primer sugárzójától milyen távolságban csökken a teljesítménysűrűség a $10\text{W}/\text{m}^2$ érték alá.

A számítás módja a következő:

$$d_m = \sqrt{\frac{\text{EIRP}}{4 * \pi * s_{\text{meg}}}} \text{ [m]}$$

Ahol:

d_m = ilyen távolságon kívül $s < s_{\text{meg}}$.

$s_{\text{meg}} = 10 \text{ [W}/\text{m}^2]$

$\text{EIRP} = P_{\text{ki}}[\text{dBW}] + G_{\text{A}}[\text{dBi}] \text{ [dBW]}$

Biztosítani kell, hogy senki se kerülhessen d_m távolságnál közelebb a működő antenna primer sugárzójához!

6. Frekvenciaengedély, rádióengedély

Rádiórendszer üzembehelyezéséhez és működtetéséhez rádióengedély szükséges, melyet a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság (NMHH) frekvencia engedélyezési terv alapján ad ki.

A frekvencia engedélyezési terv az NMHH előírásai szerint készül. A mikrohullámú összeköttetésekre a 960 MHz feletti földfelszíni állandóhelyű szolgálat állomásainak engedélyezése vonatkozik. A frekvencia engedélyezési terv egy rendszertechnikai terv (az NMHH csak ezt az elnevezést használja), amely tartalmazza a rádiós összeköttetés felépítését és rádiótechnikai adatait (felhasznált frekvenciák, földrajzi adatok, telepítési feltételek, alkalmazott berendezések, interferencia vizsgálat, sugáregészségügyi követelmények betartása, minőség, megbízhatóság). A Hatóság a rendszertechnikai terv elfogadása esetén „Frekvencia kijelölési határozat”-ot, ad ki, mely szükséges a „Rádióengedély” megszerzéséhez. A Rádióengedélyt a Frekvenciaengedély birtokában külön kell kérvényezni.

A kérelmezés során a 7/2012.(I.16.) NMHH rendelet (rendelet a polgári frekvenciagazdálkodás egyes hatósági eljárásairól) szerint kell eljárni.

A benyújtandó Frekvencia engedélyezési tervnek tartalmazni kell:

- A létesítendő összeköttetés célját, a tervezendő hálózat állomásainak adatait, a feladat leírását, a műszaki megoldások indoklását
- Az összeköttetés nyomvonaltervét, telephelyek adatait
- Antennamagasságokat és sugárzási szögeket
- Az alkalmazott berendezések ismertetését
- Frekvenciatervet

- Rendszertechnikát
- Interferenciás zavarvizsgálatot
- Az összeköttetés minőségének vizsgálatát
- Az összeköttetés megbízhatósági vizsgálatát
- A sugáregészségügyi követelmények betartásának igazolását

Rendszertechnikai vázlatot

- Nyomvonal vázlatot
- Terepmetszetet
- Vázlatot az interferáló hálózatról
- Elektronikus adatszolgáltatást

II. rész

Kiviteli tervezés

1. Általános tudnivalók

Az alábbiakban tárgyalt kiviteli tervezés és dokumentálása a pont-pont közötti mikrohullámú összeköttetésekre vonatkozik.

A szakági követelményeket csak a polgári alkalmazásokra vonatkozóan tárgyaljuk. A rádió-távközlő rendszerekre vonatkozó hatósági eljárásokat a 7/2012. (I.26.) NMHH rendelet, valamint az 5/2004.(IV.13.)IHM rendelet szabályozza. A mikrohullámú összeköttetések tervezésénél, létesítésénél a rendeletek vonatkozó részeiben leírtak szerint kell eljárni. Rádió berendezéseket felszerelni és üzembe helyezni csak a megfelelő hatósági engedélyek birtokában szabad.

A kiviteli tervezés és az üzembe helyezés előkészítése a "Frekvenciakijelölési határozat" alapján történhet. Az üzembe helyezéshez "Rádióengedély" szükséges. Rádióengedélyt, csak igazolt megfeleléssel, a forgalomba hozatalra vonatkozó jogszabálynak eleget tevő berendezés üzemeltetéséhez lehet kérelmezni. Az engedélyeket a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság (NMHH) adja ki. (A vonatkozó engedélyezési eljárásokkal kapcsolatos részletes tájékoztató megtalálható az NMHH honlapján.)

Az egyes frekvenciasávok használhatóságának feltételeit, a 346/2004. (XII.22.) sz. kormányrendelet (Frekvenciasávok Nemzeti Felosztási Táblázata, FNFT), a frekvenciasávok felhasználási szabályait, a 2/2013. (I.7.) NMHH rendelet tartalmazza. E rendelet 1.sz. mellékletében van feltüntetve a Rádióalkalmazási Táblázat (RAT). A RAT az egyes frekvenciasávok általános felhasználási szabályait foglalja magába, a rendelet további mellékletei pedig a rádiórendszerek részletes frekvenciagazdálkodási követelményeit és a sávhasználati feltételeket tartalmazzák.

Ezeket feltételeket és szabályokat be kell tartani, és ezek a tervek dokumentációjából követhetők legyenek.

2. A kiviteli/betelepülési tervek tartalmi követelményei

Előlap

1. Tartalomjegyzék
2. Aláíró lap
3. Tervezői nyilatkozat
4. Munkavédelmi nyilatkozat
5. Statikai nyilatkozat
6. Műszaki leírás
7. Munka- és egészségvédelmi tervfejezet
8. Sugárvédelmi tervfejezet
9. Környezetvédelmi tervfejezet
10. Tűzvédelmi tervfejezet
11. Berendezés- és anyagjegyzék
12. Kábeljegyzék
13. Változások jegyzéke, verziószám (ha szükséges)
14. Kapcsolódó tervek jegyzéke
15. Mellékletek
16. Rajzok

A tervek meghatározzák az adott létesítmény megvalósítási módját, amely lehetővé teszi a biztonságos üzemeltetést.

A terveket egyértelmű azonosító számmal kell ellátni.

A kiviteli terv akkor felel meg a céljának, ha az abban foglaltak megvalósíthatók, kivitelezhetők a tervezett módon. A tervet úgy kell strukturálni, hogy az önálló feladatok jól elkülönüljenek.

A szöveges tervdokumentumnak elsősorban az a feladata, hogy megvilágítsa a terv minden részletét, magyarázatot és segítséget adjon a megvalósításhoz. Feladata továbbá, hogy a rajzban nem közölhető információk is egyértelműen megjelenjenek.

1. Tartalomjegyzék

Minden tervnek kötelező eleme. A dokumentációkat oldalszámmal, fejezet és rajzi azonosítóval kell ellátni.

2. Aláíró lap

A tervhez csatolni kell egy önálló aláíró lapot, amely tartalmazza a tervezési feladatban közreműködő minden tervező nevét, megnevezését, a tervezési jogosultság számát és a tervezők sajátkezű aláírását, mellyel hitelesítik a dokumentumot.

3. Tervezői nyilatkozat

- 3.1. Megrendelő neve, címe
- 3.2. A beruházás megnevezése és helyszíne
- 3.3. Terv címe és azonosító száma
- 3.4. Tervező neve és jogosultsága
- 3.5. A tervanyag jellege (pl. betelepülési terv, megvalósulási terv, stb.)
- 3.6. Nyilatkozat arról, hogy a terv megfelel a vonatkozó hatályos jogszabályoknak és az országos, valamint a szakági szabványoknak és az érvényes irányelveknek

3.7. Nyilatkozat arról, hogy a felszerelésre tervezett berendezések szükséges tanúsítványai rendelkezésre állnak, vagy a kivitelezés megkezdéséig beszerzésre kerülnek
A tervezői nyilatkozatot a felelős tervező aláírásával kell ellátni.

4. Munkavédelmi nyilatkozat

A felelős tervező nyilatkozata, hogy a tervben szereplő műszaki megoldásoknál, berendezések, rendszerek, technológiák tervezésénél a munkavédelemről szóló 1993.XCIII. törvény vonatkozó előírásait betartotta.

A nyilatkozatot a felelős tervező aláírásával kell ellátni.

5. Statikai nyilatkozat

Megfelelő jogosultsággal rendelkező statikus tervező nyilatkozata arról, hogy a felszerelésre kerülő antenna (vagy antennák) és azok tartószerkezete nem veszélyezteti az adott építmény állékonyságát, és az antennatartó szerkezet biztosítja az összeköttetés biztonságos üzemeltetését.

A nyilatkozatot a felelős tervező aláírásával kell ellátni.

6. Műszaki leírás

A műszaki leírásban röviden össze kell foglalni az előzményeket, a megvalósítás célját, a megrendelő fő elvárásait, meg kell határozni a feladatot.

A műszaki leírás ajánlott főbb részei :

- általános ismertetés
- alapadatok, ezek tartalmazzák a tervezett nyomvonal leírását, az átviteli kapacitás igényt, a főbb rádiótechnikai adatokat (berendezés és antenna típusa, antenna-magasságok, szakasz-számítás)
- a mikrohullámú összeköttetés rendszertechnikája, felügyeleti rendszer
- antennatartó szerkezet, antennafelszerelés leírása
- installációs munkák, a berendezések telepítése
- tápellátás, disszipáció
- technológiai földelés
- kábelezés
- földelés, villámvédelem
- bontás (ha szükséges)

7. Munka- és egészségvédelmi tervfejezet

Tartalmazza az általános munka- és egészségvédelmi követelményeket, felhívja a figyelmet az építési és szerelési munkák, részfeladataihoz tartozó védelmi utasítások betartására, a védőfelszerelések használatának szükségességére. Kiemeli a megbízó, üzemeltető és a berendezés szállító által előírt, munkavédelmi intézkedések, utasítások lényegét a tervezett munkálatok vonatkozásában, figyelemmel a munkavégzéskor előforduló veszélyekre. Különös figyelemmel kell lenni a földelési előírásokra, érintésvédelemre. Fel kell hívni a figyelmet az érintésvédelmi jegyzőkönyv megfelelőségére és hatályosságára. Optikai interface telepítése esetén legyen figyelmeztetés a lézersugár veszélyeire. Az antennák, kültéri egységek szerelésével kapcsolatban külön fel kell hívni a figyelmet az üzemelő antennák közelében, valamint a magasban végzett munkák biztonsági és munkavédelmi előírásaira.

A fejezetben fel kell sorolni a vonatkozó és hatályos munka- és egészségvédelmi jogszabályokat és szabványokat.

8. Sugárvédelmi tervfejezet

Ebben a fejezetben fel kell hívni a figyelmet a 63/2004(VII.26.) ESZCsM rendeletre, amely a 0Hz - 300 GHz közötti frekvencia tartományú elektromos, mágneses és

elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeit határozza meg. Utalni kell rá, hogy ezen határértékek betartása a szerelés, üzembehelyezés és majd az üzemeltetés során is kötelező.

9. Környezetvédelmi tervfejezet

A tervezett műszaki megoldással együtt járó, környezetkárosító hatást is magával hordozó technológia részletes bemutatása, különös tekintettel a veszélyforrásokra. Legyen útmutatás a környezetre káros anyagok, hulladékok elkülönített kezelésére, tárolására, megsemmisítésére, vagy begyűjtésére. A keletkező hulladékok tervezett mennyiségét fajtanként EWC kódszámmal feltüntetve előirányzatban meg kell adni. A felelős műszaki vezető és a dolgozók környezettudatos magatartására a figyelmet minden esetben fel kell hívni.

Amennyiben a Megrendelő rendelkezik saját technológiai utasítással, az ahhoz kapcsolódó környezetvédelmi előírásokra fel kell hívni a kivitelező figyelmét. A fejezetben fel kell sorolni a vonatkozó és betartandó hatályos környezetvédelmi jogszabályokat.

10. Tűzvédelmi tervfejezet

A fejezetben fel kell hívni a figyelmet az alkalmazott megoldásokhoz kapcsolódó tűz- és vagyonbiztonsági előírások betartására. Ismertetni kell a helyszínen érvényes tűzvédelmi szempontokat, a meglévő tűzvédelmi megoldást (pl. automatikus tűzoltó berendezés van a telephelyen). Nyilatkozni kell arról, hogy a telepítésre kerülő eszközök nem változtatják meg a létesítmény/helyiség tűzvédelmi besorolását. Elő kell írni, hogy a megrendelő, illetve a létesítmény tulajdonosának tűzvédelmi előírásainak betartása kötelező. Fel kell sorolni a vonatkozó és betartandó hatályos szabványokat és jogszabályokat.

11. Berendezés- és anyagjegyzék

Fel kell sorolni a felszerelésre kerülő berendezések, antennák, a szükséges szerelési anyagok típusát, számát, esetenként a gyártó megjelölésével.

12. Kábeljegyzék

Meg kell adni (célszerűen táblázatos formában) a kábelek (esetenként tápvonalak) típusát, keresztmetszetét/átmérőjét, funkcióját, hosszát, valamint a bekötés kezdő- és végpontját. Szükség szerint külön táblázatban szerepeljenek a kábelkifejtések.

13. Változások jegyzéke, verziószám (ha szükséges)

Erre akkor van szükség, ha meglévő rendszer módosítására, bővítésére kerül sor. Ilyenkor hivatkozni kell az előző állapotot tartalmazó tervre és meg kell adni a módosítás sorszámát.

14. Kapcsolódó tervek jegyzéke

Ha a tervezett létesítés más létesítésekhez szorosan kapcsolódik (pl. egységes rendszertechnika, felügyeleti rendszer, energiaellátás), akkor a megrendelő igényétől függően ajánlott a kapcsolódó terveket felsorolni.

15. Mellékletek

A mellékletekben lehet megadni a tárgyhoz tartozó kiegészítő információkat, amelyek hasznosak lehetnek a kivitelezés során. Ilyenek lehetnek pl. a tervegyeztetések jegyzőkönyvei, vagy az építési napló vonatkozó oldalai.

16. Rajzok

A kiviteli terv legfontosabb részei a rajzdokumentumok. A kivitelezés, szerelés elsősorban ezek alapján történik. A rajzoknak tartalmazniuk kell minden olyan részletet, amely szükséges a kivitelezés hibátlan elvégzéséhez.

A következő rajzokat kell elkészíteni :

- alaprajz, beültetési rajz
- rendszertechnikai rajz
- berendezés-szekrények, keretek rajza, beültetése
- kábelek, tápvonalak nyomvonal rajza, bekötése
- tápáram ellátás bekötése
- az összeköttetés(ek) nyomvonalrajza a szakaszhossz, sugárzási irányok feltüntetésével
- az antenna (antennák) felszerelési rajza az antenna-magasság(ok), sugárzási irány(ok) és a kábel/tápvonal nyomvonal(ak) feltüntetésével

Ajánlott egy rajzjegyzék készítése, mely tartalmazza a rajzok címét, rajzszámát a készítés dátumát valamint egy törés- vagy verziószámot.

III. rész

Építésügyi hatósági eljárások

A 37/2007. (XII. 13.) ÖTM rendelet foglalkozik általában az építésügyi hatósági eljárásokkal, a 14/2013.(IX.25) NMHH rendelet ehhez kapcsolódóan az elektronikus hírközlési építmények elhelyezéséről és az elektronikus hírközlési építményekkel kapcsolatos hatósági eljárásokról intézkedik. Ezek alapján az építésügyi hatósági engedélyhez és bejelentéshez kötött, illetve engedély és bejelentés nélkül végezhető építési tevékenységek az alábbiak szerint végezhetők :

- a) *építési engedély alapján végezhetőek* elektronikus hírközlési építmény esetében
- aa)* antenna létesítése, ha bármely irányú mérete a 4,0 m-t meghaladja,
 - ab)* műtárgynak minősülő antennatartó szerkezet létesítése, ha a teljes hossza a 6,0 m-t meghaladja,
 - ac)* mérettől függetlenül antenna, antennatartó szerkezet, csatlakozó műtárgy létesítése, ha építményen történő elhelyezése az építmény tartószerkezetének megerősítését igényli,
 - ad)* a műemléki védelem alatt álló építményen vagy területen az *aa)-ac)* pontban meghatározott építési tevékenységek végzése mérethatár nélkül,
 - ae)* a műemléki védelem alatt álló építmény vagy jogszabályban meghatározott védelemmel érintett műemléki területen álló meglévő építmény homlokzatára, födémére vagy tetőzetére szerelt bármely szerelvény, berendezés, antenna, antennatartó szerkezet, műtárgy létesítése.

b) *Bejelentés alapján végezhető építési tevékenység* (amennyiben nem tartozik a) és c) körébe) az önkormányzati rendelettel védetté nyilvánított építmény vagy ilyen területen álló meglévő építmény homlokzatára, födémére vagy tetőzetére szerelt szerelvények, berendezések, antenna, antennatartó szerkezet, műtárgy létesítése, szerkezetek elhelyezése.

c) Elektronikus hírközlési építmény *építési tevékenysége építési engedély és bejelentés nélkül végezhető* az alábbi feltételek együttes teljesülése esetében:

ca) antenna létesítése, ha bármely mérete 4 m vagy annál kisebb, és

cb) műtárgynak minősülő antennatartó szerkezet létesítése, ha a teljes hossza 6 m vagy annál kisebb, és

cc) antenna, antennatartó szerkezet, csatlakozó műtárgy létesítése, ha építményen történő elhelyezése az építmény tartószerkezetének megerősítését nem igényli,

A hatályos és korábban ismertett jogszabályok közül a Eht 94. § (1) tartalmazza, hogy a település tervezésénél, rendezésénél, utak és közművek építésénél, korszerűsítésénél, egyéb építmények és más létesítmények megvalósításánál, felújításánál - a külön jogszabályban meghatározott módon - biztosítani kell az elektronikus hírközlési építmények elhelyezésének lehetőségét. Ugyanezen paragrafus (2) bekezdése szerint az elektronikus hírközlési építményt elsősorban közterületen vagy meglévő elektronikus hírközlési építmények közös eszközhasználatával, illetőleg más közüzemi szolgáltató létesítményeinek felhasználásával kell elhelyezni.

Az Eht. 95. § (1) foglalkozik az elektronikus hírközlési építmény elhelyezésével és kimondja: Ha a nyilvánosan elérhető elektronikus hírközlési szolgáltatás érdekében az elektronikus hírközlési építmény elhelyezésére közterületen, vagy meglévő elektronikus hírközlési építmények közös eszközhasználatával nincs lehetőség, és a közüzemi szolgáltató, vagy a magántulajdonban álló ingatlan tulajdonosa (kezelője, használója) és a szolgáltató között megállapodás nem jött létre, az elektronikus hírközlési építmény e § szerinti eljárásban elsősorban a közüzemi szolgáltató létesítményén, illetve másodsorban magántulajdonban álló ingatlanon (érintett ingatlan) is elhelyezhető. A (2) bekezdés foglalkozik a tűrési kötelezés, használati vagy szolgalmi jog alapítás feltételével. Ennek a lényege, hogy a szolgáltató kérelmére szolgalmi vagy más használati jogot alapító határozatával az érintett ingatlan tulajdonosát korlátozhatja az ingatlan használatában a hatóság (esetünkben hatóság az NMHH), ha a szolgáltató bizonyítja, hogy

a) az érintett ingatlan tulajdonosával való megállapodás érdekében minden tőle elvárhatót megtett,

b) az elektronikus hírközlési építmény elhelyezésére közterületen, vagy meglévő elektronikus hírközlési építmények közös eszközhasználatával, illetőleg magántulajdon esetén más közüzemi szolgáltató létesítményeinek felhasználásával környezetvédelmi, közegészségügyi, közbiztonsági, építésügyi okok, illetve az elektronikus hírközlő hálózat sajátosságai miatt nincs lehetőség.

A jogi szabályozás tükrében a rádiótechnikai tervezési és infrastruktúra telepítési igény kielégíthetőnek tűnik, de meg kell jegyezni, hogy a helyi önkormányzati (Budapesten a kerületi) rendeletek és az engedélyezési gyakorlat sokszor nem követi a magasabb jogszabály szellemét és akaratát.