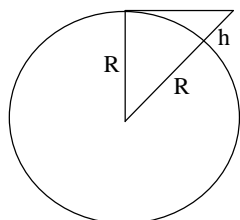


## Hullámterjedési számítás

A bázis állomás által ellátott terület meghatározásához induljunk ki az egyszerű fizikai alapfogalmakból, majd az elméleti villamosságtan csillapítás számításain át a végeredményt az empirikus összefüggések ismeretében a szükséges korrekciókkal állapítjuk meg. A helybeli és időbeli zavartatások statisztikai számítása a hatótávolság, vagy a szükséges teljesítmény értékét befolyásolja.

Az ultrarövid hullámok terjedése egyenes vonalú. Az a távolság, amely egyenes vonalú terjedéssel áthidalható, vagyis a geometriai horizont, a Föld görbülete és az antenna magasság függvénye, Pythagoras tételéből:



$$D = \sqrt{2Rh + h^2} \quad /1/$$

D = a geometriai horizont távolsága  
h = az antenna magassága  
R = a Föld sugara

Mivel a Föld sugara mellett (6361 km) az antenna magasság néhányszor tíz méteres magassága elhanyagolható, a képletből a másodfokú tagot elhagyva:

$$D \cong \sqrt{2Rh} \quad /2/$$

közelítést kapjuk. Ebbe a földsugár konstans értékét behelyettesítve:

$$D = 3,56\sqrt{h} \quad /3/$$

ahol D = a geometriai horizont [km]  
h = az antenna magassága [m]

amely közvetlen összefüggést ad az antenna magassága és a hatótáv között.

A /3/ összefüggés csak addig használható, amíg a terjedési útvonal légrétegeinek törésmutatója változatlan, és a terjedés akadálytalan, szóródások és visszaverődések nem keletkeznek a terjedési útvonalat magába foglaló meghatározott geometriájú térben (Fresnel elmélete).

A földfelszíni légkör hőmérséklete – a meteorológiai frontok hatásait most nem vizsgálva – a magassággal csökken. A légkör rádióhullámokra vonatkoztatott törésmutatója ennek függvényében a magassággal csökken, és ez a rádióhullámok földfelszín felé hajlását eredményezi, tehát a rádió horizont a geometriai horizonton túl van. A jelenséget modellezhetjük az egy homogén atmoszférával és egy korigált földsugár meghatározásával:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{R}{n} \frac{dn}{dl}} \quad /4/$$

ahol  $K$  = a Földsugár korrekciós szorzója  
 $R$  = a valóságos Földsugár  
 $n$  = a levegő refrakciós indexe  
 $\frac{dn}{dl}$  = a levegő törésmutatójának magasság szerinti differenciálhányadosa, gradiense

Hullámterjedési tapasztalatok szerint a térségünk légköri viszonyai mellett a refrakciós index gradiense  $-0,039 \cdot 10^{-6}/m$ , ami  $K = \frac{4}{3}$  értékű földsugár-tényezőt eredményez. Az így megnövelt földsugárral a geometriai horizont /3/ képletét a rádióhorizontra vonatkoztatva:

$$D = 4,12\sqrt{h} \quad /5/$$

Két antenna közti rálátási távolság az /5/ összefüggést alkalmazva:

$$D = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad /6/$$

ahol  $D$  = a látóhatár, rádió horizont [km]  
 $h_1$  = az egyik antenna magassága [m]  
 $h_2$  = a másik antenna magassága [m]

A /6/ összefüggés a terjedési térben bekövetkezett szóródásokat még nem veszi figyelembe, vagyis csak akadálytalan terjedés esetén használható.

A csillapítási viszonyok meghatározását a szabad térben elhelyezkedő izotrop antenna terének vizsgálatával kezdjük. A pontszerű antenna által keltett elektromágneses teljesítménysűrűség az antennát középpontjában tartalmazó gömb felületén:

$$S = \frac{P_a}{4\pi d^2} \quad /7/$$

ahol  $S$  = az elektromágneses teljesítménysűrűség [ $W/m^2$ ]  
 $P_a$  = az adóteljesítmény [ $W$ ]  
 $d$  = a vizsgált felület távolsága [ $m$ ]

Az adott teljesítménysűrűségből a vevőantenna által vett teljesítmény:

$$P_v = SA \quad /8/$$

ahol  $P_v$  = a vett teljesítmény [ $W$ ]  
 $S$  = a teljesítménysűrűség az antenna helyén [ $W/m^2$ ]  
 $A$  = a vevőantenna hatásos felülete [ $m^2$ ]

Az elemi antenna hatásos felülete:

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad /9/$$

ahol  $\lambda$  = a vett jel hullámhossza [ $m$ ]  
 $A$  = az antenna hatásos felülete [ $m^2$ ]

A vett teljesítmény /8/ képlete a /7/ és /9/ behelyettesítésével a következőképpen alakul:

$$P_v = P_a \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad /10/$$

ahol  $P_v$  = a vett teljesítmény [ $W$ ]  
 $P_a$  = az adóteljesítmény [ $W$ ]  
 $\lambda$  = a hullámhossz [ $m$ ]  
 $d$  = a vizsgált távolság [ $m$ ]

A kisugárzott teljesítmény és a vett jel teljesítményének hányadosa adja az energia divergenciából származó szabadtéri csillapítást:

$$a_0 = \frac{P_a}{P_v} = (4\pi d \div \lambda)^2 \quad /11/$$

Áttérve a híradástechnikában szokásos logaritmusos alakra:

$$a_0 = 20 \lg \frac{4\pi d}{\lambda} \quad /12/$$

Valóságos antennák terének számításához figyelembe kell vennünk az antennák nyereségét. A /7-9/ képletek a következőképpen változnak:

$$S = \frac{G_a P_a}{4\pi d^2}, \quad A = \lambda \frac{G_v}{4\pi}, \quad P_v = G_a G_v P_a \left[ \lambda \div (4\pi d) \right]^2 \quad /13-15/$$

ahol  $S$  = az elektromágneses teljesítménysűrűség [ $W/m^2$ ]  
 $P_a$  = az adóteljesítmény [W]  
 $P_v$  = a vett jel teljesítménye [W]  
 $d$  = a két antenna távolsága [m]  
 $\lambda$  = a hullámhossz [m]  
 $A$  = az antenna hatásos felülete [ $m^2$ ]  
 $G_a$  = az adóantenna nyeresége az izotrop antennához képest  
 $G_v$  = a vevő antenna nyeresége az izotrop antennához képest

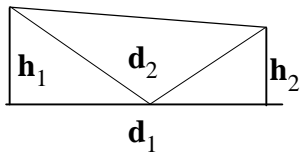
A szabadtéri csillapítás /14/ képletét az antenna nyereségekkel és a terjedési útvonal veszteségeivel kiegészítve megkapjuk az adó és a vevő közti szakasz-csillapítást:

$$a = a_0 - G_a - G_v + k_a + k_v + a_s \quad /16/$$

ahol  $a$  = szakaszcsillapítás [dB]  
 $a_s$  = a terjedési út csillapítása [dB]  
 $k_a$  = az adó és az antenna közti csillapítás [dB]  
 $k_v$  = a vevő antennaági csillapítás [dB]

A terjedési út csillapításának meghatározásához figyelembe kell venni, hogy ha a terjedési útvonal sík felület felett helyezkedik el, a vételi ponton megjelenik a

közvetlen hullám mellett a sík felületről visszavert is. Mivel a reflektált hullám hosszabb utat tesz meg, a vételi helyen a két hullám különböző fázisban találkozik és összegződik. A reflektált hullám úthossza az alábbi összefüggéssel határozható meg:



$$d_2 = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + d_1^2} \quad /17/$$

ahol  $d_2$  = a reflektált hullám úthossza [m]  
 $d_1$  = a két antenna távolsága [m]  
 $h_1$  = az egyik antenna magassága [m]  
 $h_2$  = a másik antenna magassága [m]

A reflexió helyén átlagos talajviszonyoknál az URH tartományú rádiójelekben megközelítőleg 180 fokos fázisfordítás lép fel. Amennyiben a közvetlen és a reflektált jel útkülönbsége éppen fél hullámhossznyi, akkor a beérkező jel a fázisugrással együtt azonos fázisban találkozik az antennán a közvetlen hullámmal, vagyis erősítik egymást. Ebben az esetben a sík föld feletti terjedés csillapítása kisebb, mint szabadtéri terjedés esetén, ellenkező esetben nagyobb. Szigorúan véve a reflektált jel még ideális reflexió esetén is a hosszabb útvonalhossz miatt csökkentett amplitúdóval jelenik meg, de a matematikai leírásnál azonos amplitúdókkal számolunk, a reflexiót ideálisnak, a fázisugrást  $180^\circ$ -nak feltételezzük.

A geometriai leírás /17/ egyenletéből származó fáziskülönbség kifejezése természetesen frekvenciafüggést is tartalmaz:

$$\psi = \frac{4\pi h_1 h_2}{d\lambda} \quad /18/$$

ahol

$\psi$  = a két jel fáziskülönbsége [rad]  
 $\lambda$  = a vizsgált frekvencia hullámhossza [m]  
 $d$  = a két antenna távolsága [m]  
 $h_1$  = az egyik antenna magassága [m]  
 $h_2$  = a másik antenna magassága [m]

A két azonos amplitúdójú, fázisban eltérő jel a cosinus tétellel összegezzhető, és trigonometrikus átalakítások után a következő formába hozható:

$$E = 2E_0 \sin \psi = 2 E_0 \sin 4\pi \frac{h_1 h_2}{d\lambda} \quad /19/$$

Kis fázisszögek esetén további egyszerűsítéseket végezhetünk:

$$E \cong E_0 \frac{4\pi h_1 h_2}{d\lambda} = 4\pi \sqrt{60G_a P_a} \frac{h_1 h_2}{d^2 \lambda} \quad /20/$$

ahol  $E_0$  = a közvetlen jel térerő vektora  
 $P_a$  = az adóteljesítmény  
 $G_a$  = az antennanyereség

Az összefüggést teljesítményekre alkalmazva és áttérve a logaritmikus alakra megkapjuk a sík föld feletti csillapítást:

$$a = a_0 - 20 \lg \frac{4\pi h_1 h_2}{d\lambda} \quad /21/$$

ahol  $a_0$  (a /12/ felhasználásával):

$$a_0 = 20 \lg \frac{4\pi d}{\lambda} - 20 \lg \frac{4\pi h_1 h_2}{d\lambda} \quad /22/$$

ahol  $a$  = a két útvonalú terjedés csillapítása [dB]  
 $d$  = a két antenna távolsága [m]  
 $\lambda$  = a hullámhossz [m]  
 $h_1$  = az egyik antenna magassága [m]  
 $h_2$  = a másik antenna magassága [m]

A valóságos viszonyokat pontosabban tükröző matematikai számítások az eddig leírt alapok és empirikus eredmények felhasználásával alkothatók meg. A szakirodalom több módszert ismer, melyek térerősség számítási eljárásokat ajánlanak explicit egyenletekkel, táblázatos, diagramos formában adnak meg korrekciós tényezőket, pl. városi, nagyvárosi csillapításokra, valamint effektív antennamagasság meghatározásokat közölnek. Ilyen módszer pl. Yoshimisa Okumura a "Review of the Electrical Communication Laboratory" folyóiratban publikált anyaga; a Bullington módszer; a CCIR 340. Ajánlása és 567. Jelentése; a CCIR Tanulmányi csoportjának anyagai; a Storno "Range and Power" kiadványa. A besugárzás számításban az ún. japán módszerrel dolgozunk.

A szabadtéri csillapítás a Bullington módszer szerint:

$$a_0 = 20 \lg (df) + 28,14 \quad /23/$$

ahol  $a_0$  = a szabadtéri csillapítás [dB]  
 $f$  = a frekvencia [MHz]  
 $d$  = a két antenna távolsága [km]

Szabadtéri csillapítással lehet számolni, ha az adó és vevő antenna között az első Fresnel-zóna szabad, a terjedést nem akadályozzák a tereptárgyak.

Az útvonal bármely pontján az első Fresnel zóna sugara az alábbiak szerint számolható ki:

$$R = 31,6 \sqrt{(\lambda d_1 d_2) \div d} \quad /24/$$

ahol  $R$  = a Fresnel zóna sugara [m]  
 $d_1$  = az útvonal rövidebb szakaszának hossza [km]  
 $d_2$  = az útvonal hosszabb szakaszának hossza [km]  
 $d$  =  $d_1 + d_2$  = a teljes útvonalhossz [km]  
 $\lambda$  = a hullámhossz [m]

A sík föld feletti terjedés visszaverődéses veszteségeit az alábbi egyenlettel kell figyelembe venni:

$$a_s = 20 \lg \frac{d^2}{h_1 h_2} + 115,7 \quad /25/$$

ahol  $a_s$  = a két útvonalú terjedés csillapítása [dB]  
 $d$  = a két antenna távolsága [km]  
 $h_1$  = az egyik antennatorony magassága [m]  
 $h_2$  = a másik antennatorony magassága [m]

Két pont közötti összeköttetés számításánál a kedvezőtlenebb feltételeket vesszük figyelembe. Fix összeköttetéseket a valóságos paraméterekkel, besugárzás számítást a vizsgált pontokon általában 2 m magasságban elhelyezett antennával számolunk. A felvett terepmetszet alapján a következő eseteket kell még figyelembe venni: Az első Fresnel zónába benyúló tereptárgy, de meglévő átlátás; az első Fresnel zóna teljes takarása; a rádióhorizonton túli összeköttetés; késél akadály hatása; nagy akadály árnyékolása; kombinált terjedési akadályok. E jelenségekre a japán módszer korrekciós számokat ad.

## A szükséges minimális térerő meghatározása

A gyakorlatban a helyek 50 %-ában és az idő 50 %-ában ellátottnak tekinthető az a terület, amely frekvenciasávonként a következő minimális szintnél nagyobb térerősséggel van besugározva (1. táblázat):

Frekvenciasáv [MHz]	Minimális térerősség [dB $\mu$ V/m]
80	8
160	20
450	28

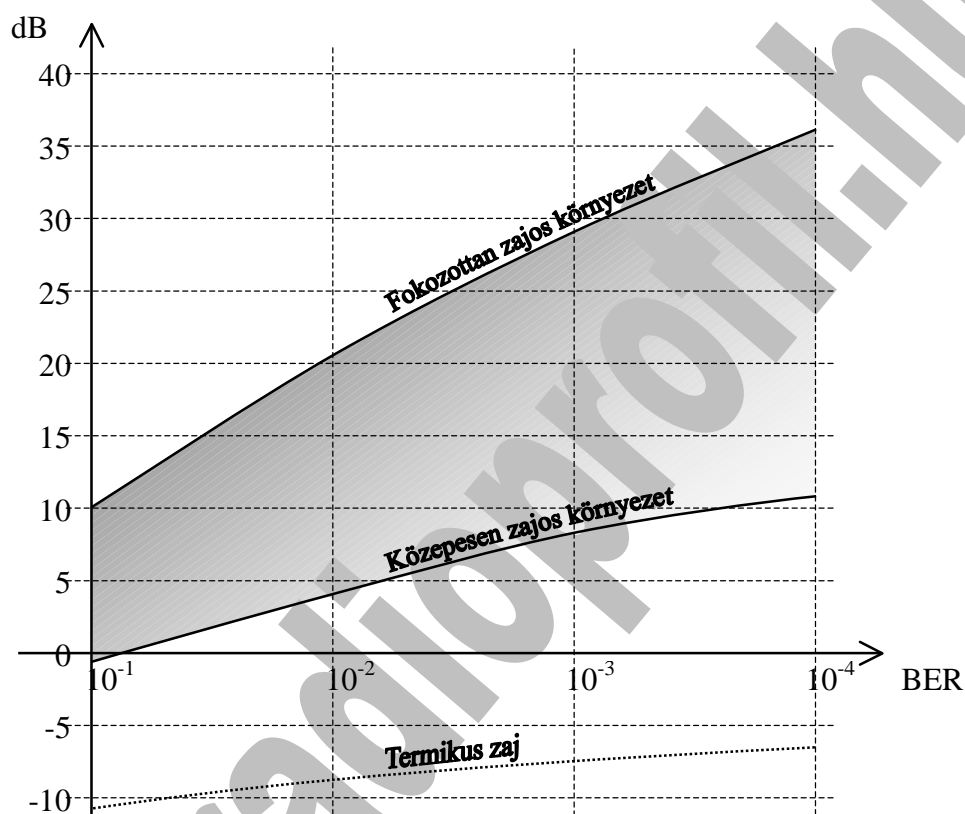
A szükséges minimális térerősség a környezethez képest 1,5 m magas sugárzási súlypontú vevőantennára vonatkozik.

A terjedési útvonal sajátosságait, a városi környezet visszaverődésekből, reflexiókból származó csillapításait az alábbi korrekciókkal lehet figyelembe venni (2. táblázat):

Frekvenciasáv [MHz]	A beépített terület jellege			
	Családi házak	1-2 emeletes lakóházak	4-5 emeletes lakóházak	Lakótelepi toronyházak
80	4	8	14	20
160	8	14	20	24
450	14	20	24	28

A megadott értékek dB-ben vannak kifejezve.

Adatátvitelnél az összeköttetést a bit-hibaarány minősíti. A hibaarány és a szükséges csillapítás-tartalék összefüggését a környezeti zaj függvényében az alábbi diagram szemlélteti:



Az alacsony sebességű adatátviteli hálózatokban az általában elfogadott hibaarány  $10^{-3}$ .

### A rádióberendezések minimális bemenő teljesítménye

A minimális teljesítményszint meghatározásához szükség van a rádióberendezések minimális vevőbemeneti teljesítmény értékeire is. A berendezések konstrukciójuktól függően kismértékben eltérhetnek egymástól, de az azonos technikai színvonalú készülékek hasonló adottságokkal rendelkeznek. Ezek általában a következő értékekkel közelíthetők: (3. táblázat)

Frekvenciasáv [MHz]	Minimális bemeneti vevőteljesítmény [dBW]
80	-128
160	-135
450	-137

### Az antenna nyereség

A rádióberendezések fizikai paraméterein kívül az antenna nyereségeket és veszteségeket is figyelembe kell venni.

Hordozható készülékeknél, a rövidített antennák típusától függően -6 dB, vagy -8 dB veszteséggel számolunk.

Telepített állomások körsugárzói és Yagi antennái a gyári adatlapok és sugárzási diagramok segítségével számolhatók.

A mobil antennák 0 dB vagy 1,5-2 dB (5/8 hullámhossz esetén) nyereséggel vehetők figyelembe.

### A kábelcsillapítás

Az antennák bekötő kábeleinek csillapítását a kábeltípus és nyomvonalhossz ismeretében katalógusadatokról vagy mért adatokról állapíthatjuk meg. A kábeltípus kiválasztása az adott frekvenciasávban lévő fajlagos csillapítás, valamint a szerelhetőség szempontjai szerint történik.

Az alkalmazott csatlakozók hatását 0,5 - 1dB csillapítással lehet számolni.

## Az effektív antennamagasság meghatározása

Az effektív antennamagasság meghatározása az alábbi módszer szerint történik:

$$h_{\text{eff}} = t_h + t_t - h_{\text{átl}} \quad /26/$$

ahol  $t_h$  = a telepítési pont tengerszint feletti magassága  
 $t_t$  = az antennatorony magassága  
 $h_{\text{átl}}$  = a környezeti terepszint átlagos magassága

A környezeti terepszint átlagos magassága ( $h_{\text{átl}}$ ) meghatározása:

1. A belföldi összeköttetések méretezése szempontjából a  $h_{\text{átl}}$  az adóállomástól a vevő irányában számított 3-15 km-ig (vagy, ha az összeköttetés ennél rövidebb távolságú, akkor a tényleges távolságig) legalább 250 m-enként meghatározott terepmagasságok számtani átlaga.

2. Jugoszlávia irányában a koordinációs adatok meghatározásánál figyelembe veendő  $h_{\text{átl}}$  meghatározása:

$$h_{\text{átl}} = 0,25 (h_{/0-1/} + h_{/1-3/} + h_{/3-7/} + h_{/7-15/}) \quad /27/$$

ahol  $h_{/x-y/}$  = az x-y intervallumban 250 m-enként meghatározott terepmagasság értéke.

3. Horvátország irányában a koordinációs adatok meghatározásánál figyelembe veendő  $h_{\text{átl}}$  meghatározása:

A  $h_{\text{átl}}$  az adóállomástól a vevő irányában számított 1-15 km-ig (vagy, ha az összeköttetés ennél rövidebb távolságú, akkor a tényleges távolságig) legalább 250 m-enként meghatározott terepmagasságok számtani átlaga.

## Zavartatás számítás

Figyelembe kell venni az azonos csatornás zavartatás hatásait is. A tervezési irányelvek szerint az azonos-csatorna távolság a frekvenciasáv függvényében 70-90 km.

A zavaró adónál az idő 10 %-ában, a helyek 50 %-ában túllépett térerősség-szintet kell számításba venni. Különösen fontos hálózatoknál magasabb védettségi szint is biztosítható az idő 5 %-ában túllépett szinttel számolva.

A zavaró adó térerőssége az idő 10 %-ában (5 és 1%-ában) a következő értékekkel nagyobb az időbeli középértéknél (4. táblázat):

Frekvenciasáv [MHz]	Az időfüggés korrekciója [dB]		
	t=10%	t=5%	t=1%
80	10	14	20
160	11	15	21
450	12	16	23

A biztosítható védettségi szint adott esetekben 8,0 dB.

A bázisállomás sugárzási zavarkontúr-vonala a CCIR 370. ajánlása szerint az idő 10 %-ában, a helyek 50 %-ában túllépett térerősség-szint feltételezése mellett 1 kW ERP teljesítményű, 50 méter antennamagasságú állomás térerősség-görbéi segítségével, a terepviszonyoknak megfelelő korrekciókkal határozható meg.

A nemzetközi koordináció érdekében az országhatáron várható zavar-térerősséget meg kell határozni. Ezt a CCIR ajánlásai szerint tesszük meg.

## Sugáregészségügyi számítás

A 32/2000. EüM rendelet 1. § (1) bekezdése szerint a 30 MHz-60 GHz tartományban a vezeték nélküli távközlési építmény által kibocsátott elektromágneses sugárzás egészségügyi határértékei a következők:

A sugárzás frekvenciatartománya	30-300 MHz	300 MHz-60 GHz
Megengedett egészségügyi felső határérték	Elektromos térerősség [V/m]	Teljesítménysűrűség [mW/cm <sup>2</sup> ]
Lakossági	20	0,01
Munkahelyi	40	0,1

A /7/ képletből a kritikus távolságot kifejezve:

$$d = \sqrt{\frac{P_a}{4\pi S}} \quad /28/$$

ahol  $S$  = az elektromágneses teljesítménysűrűség [W/m<sup>2</sup>]  
 $P_a$  = az adóteljesítmény [W]  
 $d$  = a vizsgált felület távolsága [m]