

AZ 50-90 GHZ FREKVENCIASÁVOK ALKALMAZÁSA ELLÁTÓ HÁLÓZATOKBAN

Babits László¹, Csurgai-Horváth László², Héder Balázs², Bitó János², Frigyes István²

¹Pannon GSM Távközlési Zrt, Műszaki Divízió, 2040 Baross u.165/2

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, 1111 Budapest, Goldmann György tér 3

Kivonat: A mikrohullámú frekvenciasáv valamint a milliméteres hullámhosszú frekvenciasáv alsó, kisebb frekvenciás része napjainkban egyre inkább telítette válik, így a vezeték nélküli hálózatok alkalmazói, beleértve a mobil ellátó hálózatok üzemeltetőit kénytelenek a magasabb frekvenciasávok irányába kiterjeszteni rendszereiket. A vizsgált 50-90 GHz frekvenciasávok igen széles tartományának egyes sávjai a hullámterjedés szempontjából jelentős eltéréseket mutatnak. Jellemző például az oxigén fajlagos csillapításának tág határok közötti nem monoton változása; míg az 50 GHz környékén kb. 0,03 dB/km, 60 GHz környékén 10 dB/km maximumot ér el, addig 90 GHz környékén ismét csökkenve 0,2 dB/km fajlagos csillapítást mutat. Ezek és más hullámterjedési hatások lényegesen megváltoztatott összeköttetés tervezési módszereket igényelnek. Továbbá elég határozottan kijelölik az egyes frekvenciasávok alkalmazási területeit. Az előadás áttekintést nyújt a hírközlés szempontjából új frekvenciasávok alkalmazási területeiről.

1. Bevezetés

Ismeretes: a rádióhírközlésben legtöbbször akkor térünk át egy jól bevált frekvenciasávra egy másikra, ha a meglévő nem képes az igényeket kielégíteni: minősége – például sávszélessége – nem megfelelő, a már korábban meglévő forgalom kapacitását kimerítette, így a forgalom e sávban nem növelhető tovább, vagy más hasonló okok miatt. Különösen igaz ez, ha egy (lényegesen) nagyobb frekvenciasáv bevezetéséről van szó. A nagyobb frekvenciás áramkörök technológiája általában drágább a kisebbekénél: nagyobb frekvencián működő aktív eszközök szinte mindig drágábbak, mechanikus alkatrészek gyártási pontosságának nagyobbak, a felületeknek finomabbnak kell lenni. Így – hogy úgy mondjuk – rádióhálózatok üzemeltetői tízszer is meggondolják, mielőtt áttérnek egy nagyobb frekvenciára. Ebben a cikkben azt mutatjuk be, hogy a mobil hálózatok úgynevezett ellátó hálózatában (ez, a GSM-ben megszokott terminológiát használva, a BSC-k és BTS-ek közötti összeköttetést megvalósító hálózat) közel állunk ahhoz, hogy a megszokott mikrohullámú frekvenciákról a címben szereplő milliméteres hullámú frekvenciákra térjenek át.

A fix és mobil vezeték nélküli hálózatok fejlődésének – a B3G-nek vagy 4G-nek nevezett új generációnak – legjelentősebb vonala a felhasználói kapacitás igen nagyarányú növekedése. Ez persze az ellátó hálózat ugyanilyen arányú növelését kívánja. Természetesen erre a most használt frekvenciasávokban (mondjuk 15 és 34 GHz között) nincs hely, amivel a fent mondott első változtatási indokhoz jutunk. De másfelől egy-egy összeköttetés, az ezt alkotó berendezések által átvihető jel sebességének is ugyanilyen arányban növekedni kell. E jelsebességet konzervatív igényrel is 1-1,25 GBit/sec-ra értékelhetjük. Ilyen nagy sebességű jelek átvitelére a mai frekvenciasávok, sem azok csatornakiosztása, sem a berendezések technológiája nincs felkészülve így nem alkalmas; így a fent másodikként említett körülmény is indokolja az áttérést. Megjegyezzük, hogy a vezetékes optikai technológia persze alkalmas volna ennél akár 2-3 nagyságrenddel nagyobb sebességű jelek átvitelére is – mind hagyományos módon, alapsávi jelek átvitelével, mind az angolul Radio over Fiber-nek nevezett technika alkalmazásával [1]. E lehetőség vizsgálata azonban tárgyunkon kívül esik, csakúgy, mint egy harmadik optikai technika, nevezetesen a szabadtéri optikai átvitel (FSO, Free Space Optics) vizsgálata [2].

Előadásunk felépítése a következő. A 2. szakaszban kissé részletezzük a mai (2. generációs) és az éppen bevezetés alatt álló illetve közeljövőbeli (3. generációs) hálózatok korlátait. A 3. szakasz tárgyalja a címbeli frekvenciasáv két részének (60 GHz körüli és 70-90 GHz frekvenciasávok) elvi helyét a hálózatokban. A 4. szakasz a szóban forgó milliméteres frekvenciák terjedési tulajdonságait foglalja össze. Az 5. szakaszban ezen frekvenciák ellátó hálózatok szempontjából releváns standardizálási folyamatát vázolja. A 6. szakaszban összefoglaljuk az elmondottakat.

2. A mai ellátó hálózatok korlátai

2.1 Korlátok – a berendezések oldaláról

Ismeretes, hogy a korszerű mikrohullámú berendezések a jelek feldolgozásának túlnyomó részét digitálisan hajtják végre. Amikor – nem sok évvel ezelőtt – ennek *technológiai* lehetősége megnyílt, egyúttal jelentősen megnöttek az alkalmazás lehetőségei is. Nevezetesen lehetőség nyílt arra, hogy a berendezés tényleges

tulajdonságait az alkalmazott szoftver szabja meg. Így a berendezés modulátora elvileg tetszőleges modulációra állítható be; a demodulátor ezek bármelyikét képes demodulálni; a rendszerben alkalmazott szűrők átviteli függvényét gyakorlatilag tetszőleges pontossággal lehet beállítani, beleértve ebbe azt is, hogy azok sávszélességét, szükség esetén akár 1:5 arányban változtatni.

A következőkben felsoroljuk azokat a fő paramétereket, illetve tulajdonságokat, melyeket meg kell választani ahhoz, hogy a berendezés egy kívánt sebességű (Mbit/sec) jel átvitelére legyen alkalmas:

- az elfoglalható frekvenciasáv,
- ennek megfelelően a szűrők sávszélessége;
- a modulációs eljárás,
- ennek megfelelően az alap-oszcillátor(ok) frekvenciája;
- valamint az alkalmazandó kódolás, kiegyenlítés és mások.

Továbbá, ahhoz hogy egy, a fent megválasztott berendezésből felépített összeköttetés kívánt szakaszhoszon megfelelő minőséggel működjön, meg kell választani

- az adó teljesítményét
- és az antennák méretét.

Fentiekből látható, hogy *elméletileg* tetszőlegesen kis kapacitású berendezés szoftvercserével tetszőlegesen nagyra állítható át. Egy berendezés átviteli kapacitásának beállítása egyszerűen a megfelelő szoftver kiválasztását vagy a megfelelő szoftver egység behelyezését jelenti.

Gyakorlatilag ennek nem több mint két elvi és egy gyakorlati körülmény szab határt. Az egyik elvi határt az tűzi ki, hogy a mikrohullámú oszcillátorok nem működnek ideálisan, fáziszajt termelnek; a másikat az, hogy a mikrohullámú erősítők sem működnek ideálisan, nemlineáris torzítást okoznak. Emiatt a modulációs rendszer nem tűzhető ki tetszőlegesen *magas szintűre*, miután a keskenyebb sávot elfoglaló modulációs rendszerek (lényegesen) érzékenyebbek a fáziszajra, mint a sávval kevésbé takarékoskodók. Továbbá az adó teljesítménye sem választható tetszőlegesen nagyra miután a keskenyebb sávot elfoglaló modulációs rendszerek (lényegesen) érzékenyebbek a torzításra, mint a sávval kevésbé takarékoskodók. A hatótávolságnak határt szabó gyakorlati körülmény az, hogy egy összeköttetés antennái nem választhatók tetszőlegesen nagyra. A kisebb antenna befogadására tervezett torony vagy árboc nem bírhat el *bármilyen* nagyobb antennára nehezedő szélterhelést; az eredetileg kisebb antennát tartó építményre, toronyra megadott építési engedély nem biztos, hogy érvényes nagyobb antennára is.

A fentiekből az a következtetés szűrhető le, hogy elvileg – a modulációs módszer változtatásával – tetszőlegesen nagy sebességű berendezést a meglévő frekvenciasávokban is meg lehetne valósítani. A berendezések digitális jelfeldolgozó egységei ezt szinte lehetővé is teszik. Azonban a mikrohullámú, analóg alrendszerek – oszcillátorok, teljesítményerősítők – mai fejlettségi szintje 7 bit/ szimbólum, vagy talán legfeljebb 10 bit/szimbólum szintű, azaz 1024 állapotú moduláció alkalmazását teszik lehetővé.

2.2 Korlátok – a hálózat oldaláról

Ha a nagyobb kapacitású rendszerek jövőbeli bevezetését „zöldmezős beruházásnak” tekinthetnénk, bizonyára nem volna akadály a mikrohullámú

frekvenciasáv alkalmazásának. Olyan (új) frekvenciatervet lehetne készíteni, amelyben a megfelelő sebességű/sávszélességű átvitel „elfér” és ennek alapján a hálózatot felépíteni. Azonban ezek a frekvenciasávok a világ legtöbb részén már ma telítettek, másfelől a meglévő hálózatok bizonyára még hosszú ideig mai állapotukban használhatók lesznek. Tervezésük, elsősorban a kölcsönös zavartatás elkerülése miatt igen gondos munkát igényelt, és éppen a telítettség miatt ennek során minden lehetséges eszközt felhasználtak a rendelkezésre álló frekvenciasáv minél teljesebb kihasználására. Így a kapacitás növelésére egyetlen eszközként a moduláció változtatása – a szimbólumonként átvitt bitek száma – jöhet szóba, amivel a sávszélesség változatlan marad. Ennek pedig, mint az előző pontban láttuk, korlátai vannak. (Számszerűen: a mai, 2.-3. generációs hálózatok berendezései QPSK modulációval talán legfeljebb 32-34 Mbit/sec-ot visznek át; ennek még az ötszöröse is kevesebb 200 Mbit/sec-nál; feltételezve, hogy polarizáció-multiplexálás alkalmazásával ezt meg is duplázzák, még mindig messze nem értük el a kívánt sebességet. Még azt is hozzátesszük, hogy a polarizáció-multiplexálás lehetősége nagyon kétségesnek látszik; ugyanis a fentebb „minden lehetségesnek” nevezett eszközbe bizonyára a polarizáció megfelelő megválasztását is alkalmazták.)

3. Milliméteres hullámú rendszerek – általános szempontok

A megfontolásaink tárgyát képező rendszerek tulajdonságai, alkalmazási köre, berendezéseik technológiája elég nagy mértékben eltér kisebb frekvencián megszokottaktól. Ezért helyénvaló egy áttekintő szakaszban ezekről megemlékezni.

E frekvenciasávok általános tulajdonsága: míg 20-30 GHz alatt a hullámterjedés közege, a *szabad tér* az idő nagy részében valóban *szabadnak* tekinthető, vagyis a levegőnek nincs szerepe, addig 30 GHz-nél nagyobb frekvenciákon a levegő molekulái az elektromágneses hullámokat kisebb-nagyobb mértékben csillapítják. Ezt figyelembe véve, mint alább röviden, a 4. szakaszban kicsit részletesebben kifejtjük, a szóban forgó frekvenciatartomány két eléggé eltérő részre osztható: 60 GHz körül másként viselkedik, mint 70-90 GHz között.

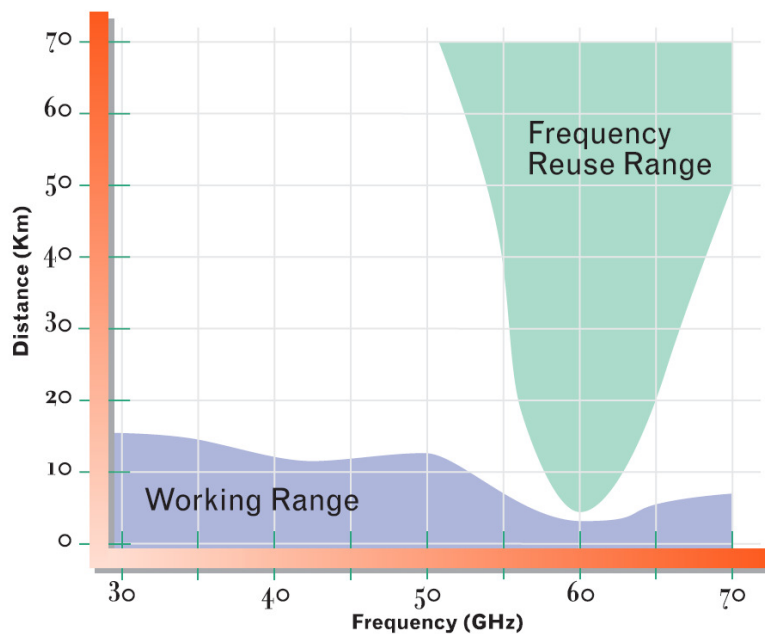
3.1 60 GHz körüli frekvenciák

Az oxigénmolekulának 60 GHz körül abszorpciós spektrumvonala van, melynek (3 dB-es) szélessége mintegy 4 GHz, csillapítása a rezonanciafrekvencián 16 dB/km. Ez kijelöli ennek a frekvenciasávnak alkalmazási lehetőségét. Nem alkalmas nagy távolság áthidalására. Azonban kiválóan használható nagysebességű rövidtávú összeköttetések létesítésére. E felhasználási körben a levegő nagy csillapításának elsősorban az a jelentősége: a csatornák közötti interferencia felléptének igen lecsökkenti a valószínűségét. Sőt, ha figyelembe vesszük, hogy ilyen nagy frekvencián már eléggé kisméretű antennának is igen keskeny a nyalábja, majdnem azt mondhatjuk, hogy csatornák közötti interferencia veszélye nélkül *tetszőlegesen sok* hasonló sebességű összeköttetést telepíthetünk kis területen is.

Ennek belátásához tegyük fel, hogy összeköttetésünk hossza 1 km (e sávban tipikus hossz) és a mondjuk 30 dB jel/zaj viszonyt kell biztosítanunk. Ekkor az adótól 2-2,5 km-re levő másik vevőben az általunk okozott „interferáló teljesítmény” a zajnál már kisebb, így a valóságban már nem is interferál. Vagyis az egyetlen, amire összeköttetések tervezésénél gondoskodnunk kell, hogy azonos frekvencián ne telepítsünk 2,5 km-nél közelebb egy zavaró adóba pontosan „belenéző” vevőt.

A 60 GHz-es sáv környékén lehetséges frekvencia-újrafelhasználás frekvencia/távolság függését szemlélteti az 1. ábra, amiről leolvasható, hogy a 60

GHz környéki oxigén abszorpciós sávban már néhány km-en belül újra használható ugyanaz a frekvencia, majd ez a távolság ettől eltérő frekvenciákon egyre növekszik.



1. ábra. Frekvencia újrafelhasználása a 60 GHz sávban [8]

Másfelől összeköttetésünk megbízhatóságát, hasonlóan a 10 GHz fölött működő mikrohullámú összeköttetésekhez, nem az oxigén-, hanem az eső- okozta csillapítás fogja megszabni. Így a kívánt (4- vagy akár 5-kilences) rendelkezésreállást a szokásos tervezési és rendszertechnikai módszerekkel lehet biztosítani.

Megjegyezzük, hogy a tipikus 60 GHz-es berendezések 155 vagy 620 Mbit/sec sebességű jel átvitelére készülnek, mintegy 1 km-es szakasz áthidalására alkalmasak. A szabályzatok *engedély nélküli* („unlicensed”) felhasználást tesznek lehetővé. 1-1,25 Gbit/sec sebességű berendezésről, vagy erre irányuló fejlesztésről nincs tudomásunk.

3.2 70-90 GHz közötti frekvenciák

A milliméteres hullámú frekvenciasáv ugyan nagyon nagy szakaszhosszak létesítésére nem alkalmas, de az ellátó hálózatban 1 km-nél nagyobb szakasz hossz mindenképpen kívánatos lenne. Maximális szakasz hossz eléréséhez kívánatos olyan frekvenciasávot kiválasztani, amelyen a levegő csillapítása a legkisebb, minthogy a nagyon heves eső csillapítása 60 GHz fölött érdekes módon kevésbé függ a frekvenciától [3]. Amint a 4. szakaszban ugyancsak részletezzük, a hőmérséklettől és a levegő nedvességtartalmától egyaránt függő légköri csillapítás tipikus körülmények között 70-75 GHz körül a legkisebb. Így, mai ismereteink szerint a célul kitűzött Gbit/sec sebességű földi rádiórendszer létrehozására ez a legalkalmasabb.

Miután ezektől a rendszerektől nagy megbízhatóságot kívánunk meg, azonban egyúttal a közeg csillapítását is minimalizálni szeretnénk, az interferencia problémája nem oldódik meg mintegy „magától”, mint 60 GHz körül. Ezért itt a teljes mértékben engedély nélküli használat nem volna célszerű, a csatornák elrendezését bizonyos mértékben szabályozni kell valamilyen fokú engedélyezési eljárásra szükség van –

és ennek megfelelően a frekvencia nem használható fel ingyen. A szabványosítási- engedélyezési eljárások mai szintjét az 5. szakaszban röviden ismertetjük.

E szakasz befejezéseként lássunk egy előzetes elképzelést ilyen rendszer specifikációjáról [3]. Eszerint a 70 GHz frekvencián működő 1 Gbit/sec sebességű berendezés 128 QAM-mel működne, az adó teljesítménye 5 dBm volna, a zajtényező 5 dB. 49 dB nyereségű antennákat alkalmazva 2 km szakaszhoz valószínűleg meg 99,99% rendelkezésreállással, még hozzá az ITU C-D klimatikus zónáiban. Miután Magyarországon az eső-statisztika a C-D zónánál kedvezőtlenebb, nálunk 2 km-es szakaszhoz valamivel szigorúbb specifikációra volna szükség. Az antennát nehezen tudjuk nagyobbak képzelni (49 dB nyeresége kb. fél méteres antennának van; továbbá elég keskeny nyalábja); így a megfelelő megbízhatóság vagy kisebb állapotszámú modulációval (és az ennek megfelelő nagyobb sávszélességgel) vagy hatékony kódolással érhető el.

4. Hullámterjedés a milliméteres hullámhossztartományban

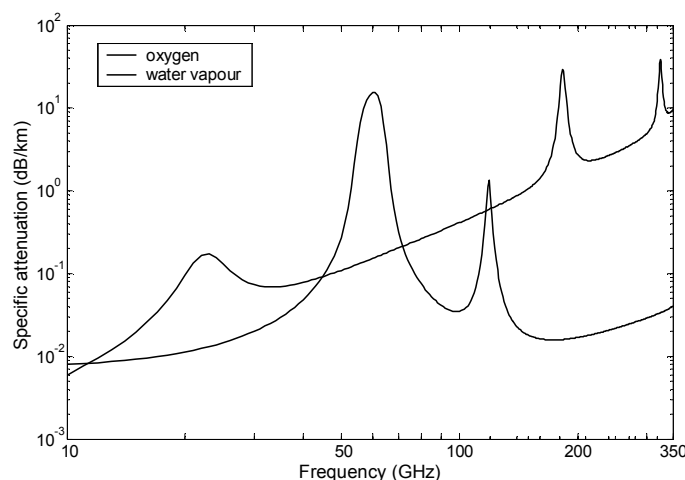
Ebben a szakaszban azokat az atmoszférikus hatásokat foglaljuk össze, amelyek jelentős befolyással bírnak a milliméteres hullámhosszúságú föld-föld rádióösszeköttetések terjedési viszonyaira.

4.1 A légköri gázok hatása

Itt alapvetően két komponens hatását kell figyelembe venni: az oxigén és a vízgőz hatását. A jelenséggel részletesebben ITU-R P. 676 ajánlás foglalkozik [4].

Az oxigén légköri koncentrációja nagyjából konstansnak tekinthető és a hőmérséklettel enyhén csökken, a földrajzi helyzet csak enyhén befolyásolja. Az oxigén által okozott csillapítás frekvenciafüggő, valamint kisebb mértékben hőmérséklet- és légnyomás-függő. Jelentősebb csillapítási csúcs figyelhető meg 118,74 GHz frekvencián, valamint a 60 GHz tartományban, azaz 50 GHz és 70 GHz között sok egymáshoz közeli sávban.

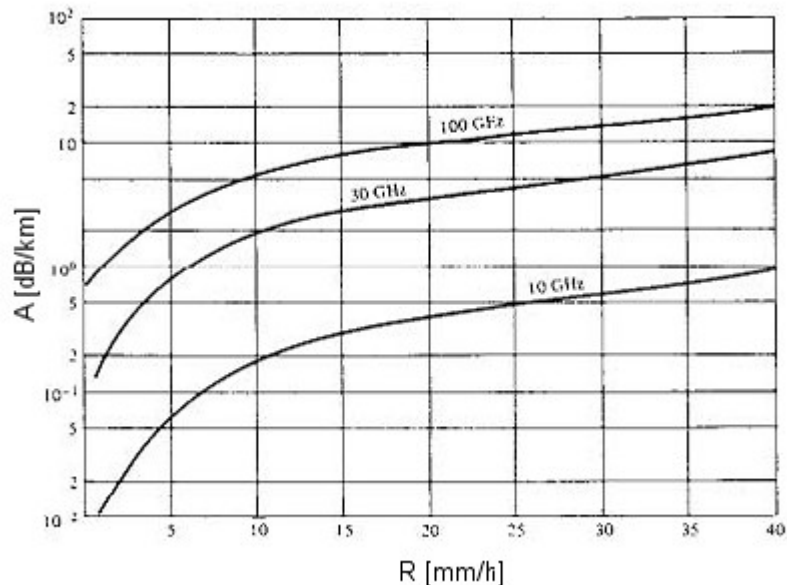
A légköri vízgőz koncentrációja jelentősen függ a hőmérséklettől és a páratartalomtól. Napi, évszakos és földrajzi szélességtől való függés egyaránt megfigyelhető. A vízgőz legjelentősebb elnyelési vonalai 23,3 GHz, 183,3 GHz és 323,8 GHz frekvenciákon figyelhető meg (2. ábra).



2. ábra. A légköri oxigén és vízgőz csillapításának frekvenciafüggése [2]

4.2 A csapadék csillapító hatása

A különböző fajtájú csapadékok jelentékeny csillapítást okoznak a nagy frekvenciájú összeköttetéseken. Az eső csillapítása elsősorban a frekvenciától, az esőintenzitástól és az esőcseppek méretétől függ. Elsődleges okai az esőcseppek abszorpciója, a szóródás és a polarizáció elfordulás. Az eső okozta fajlagos csillapítás esőintenzitás és frekvenciafüggését láthatjuk a 3. ábrán. Látható, hogy az eső csillapítása 10 GHz feletti frekvenciákon jelentős, főleg az említett csillapítás maximumokon. Elmondható, hogy a 70-80 GHz frekvencián az eső csillapítása számottevőbb, mint alacsonyabb, 30-40 GHz frekvencián.



3. ábra. Az eső csillapítása az esőintenzitás és a frekvencia függvényében

Az R [mm/h] esőintenzitástól függő γ_R [dB/km] fajlagos esőcsillapítás ismert összefüggésében (1) szereplő k és α frekvencia és polarizációfüggő állandók az ITU-R P.838 [5] ajánlásban táblázatos formában megtalálhatók:

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (1)$$

A paraméterek értékei 55 GHz frekvenciáig vannak ellenőrizve, és ezekre a frekvenciákra megfelelően jó közelítést biztosítanak. Az 55 GHz feletti frekvenciákra a paraméterek értékeit még nem ellenőrizték. Emiatt a közeljövőben különösen fontos nagyobb frekvencián végzett mérések segítségével a paraméterek értékeinek ellenőrzése.

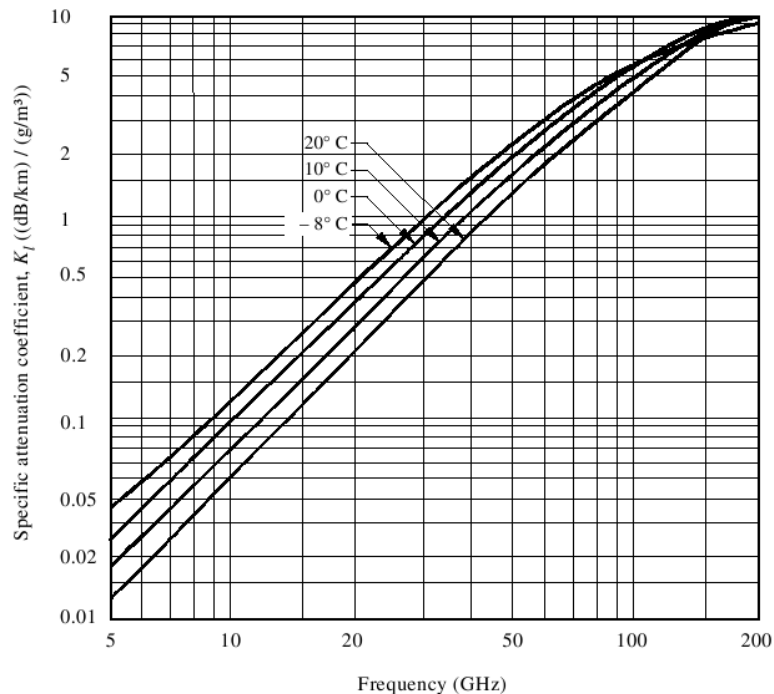
A jég, valamint a hó csillapításával általában nem kell számolni, ez 70-80 GHz frekvencián is igaz, mert amikor a víz megfagy, dielektromos állandója lecsökken. Amikor azonban az antenna radomján felhalmozódik, csillapításával számolni kell.

A havas eső (sleet) csillapítása 70-80 GHz frekvencián is számottevő, mivel esés közben a jég olvadni kezd, körülötte nedves burok alakul ki, ami jelentős csillapítást tud okozni, elérheti akár a 30-40 dB-t is.

A köd apró részecskéi miatt leginkább az optikai összeköttetéseknél használt hullámhosszon csillapít, azonban a 30-40 GHz frekvenciatartománytól eltérően csillapító hatását már a 70-80 GHz-es sávban is figyelembe kell venni. A köd által okozott csillapítással az ITU-R P. 840 ajánlás foglalkozik [6], az általa okozott γ_C [dB/km] fajlagos csillapítás (2) szerint számítható ki:

$$\gamma_c = K_f M, \quad (2)$$

ahol K_f a fajlagos csillapítás együttható [(dB/km)/(g/m³)], míg M [g/m³] a felhőben, illetve vízben levő folyékony víztartalom. A köd, illetve a felhőkben található folyékony víz fajlagos csillapítás együtthatójának frekvenciafüggését mutatja a 4. ábra különböző levegőhőmérsékletek esetén.



4. ábra. A ködön, valamint a felhőkben megtalálható folyékony víz fajlagos csillapítás együtthatója a frekvencia függvényében különböző levegő-hőmérsékletek esetén [6]

4.3 A vegetáció csillapítása

A 30 MHz és 60 GHz közötti sávokban elsősorban a rádióhullámok szóródásával magyarázható növényzet-csillapítással az ITU-R P.833 ajánlás [7] foglalkozik. Magasabb frekvenciákra az ajánlásban szereplő modellt még nem verifikálták, így különösen fontos lehet egy 70-80 GHz frekvencián üzemelő rádióösszeköttetésen elvégzett mérési sorozat kiértékelése.

5. A 70-90 GHz-es frekvenciasáv szabványosítása

Az európai szabványosítási szervezetek jelenleg a 70-90 GHz-es frekvenciasáv szabványosításának igen korai stádiumában vannak. Az Amerikai Egyesült Államokban a szabványosítási procedúra 2003 óta tart. Az FCC (Federal Communications Commission) 2003 októberében elfogadott egy határozatot a 71-76 GHz-es, a 81-86 GHz-es és a 92-95 GHz-es frekvenciasávok használatával foglalkozó szabvány lefektetésének elősegítésére [9]. Az alkalmazott igen keskeny nyalábszélesség lehetővé teszi, hogy sok pont-pont összeköttetés tudjon egymás közelében üzemelni anélkül, hogy egymásnak számottevő interferenciát okoznának. Emiatt az FCC a frekvenciasávok viszonylag rugalmas és innovatív szabályozását

fogadta el. Mindegyik sáv használatára korlátlan számú nem kizárólagos licenz kibocsátását engedélyezi. A 71-76 GHz-es és a 81-86 GHz-es sávot négy-négy 1,25 GHz-es sávra bontotta. Ezek a szegmenseket igény szerint tetszőlegesen aggregálhatóak.

2004 februárjában a WCA (Wireless Communications Association) egy petíciót nyújtott be a FCC tervezetének átgondolására. Megemlítették, hogy az FCC-nek a határozat elfogadásakor több, a 70-80 GHz-es frekvenciasávot érintő technikai részlet elkerülte a figyelmét.

A petíció hatására az FCC módosításokat eszközölt a 2003-as határozaton és 2005 márciusában elfogadta az FCC 05-45-ös határozatot [10]. Többek között a következő módosítások történtek: új összeköttetések csak akkor kapnak használati jogot a 71-76 és 81-86 GHz-es sávokban, amennyiben ezt az üzemeltető részéről alapos interferencia analízis előzi meg. Az okozott interferencia csökkentése miatt eltörölték a korábban 36dB-ben megállapított minimális jel-interferencia értéket. A módosított határozat 150mW/100MHz-ben maximalizálja az alkalmazható teljesítménysűrűséget. Az új határozat már a kisebb, olcsóbb, minimálisan 43 dBi nyereségű, 1.2° 3dB-es irányélességű antennák alkalmazását javasolja. Visszautasították viszont a WCA azon követelését, hogy a szükséges SINR értéket 36 dB-ben maximalizálják, valamint azt a javaslatot, hogy a 23 dBW-nál nagyobb EIRP-vel üzemelő összeköttetéseken automata adóteljesítmény szabályozást (Automatic Transmitter Power Control, ATPC) írjanak elő.

6. Összefoglalás

A vezeték nélküli hírközlés rohamos terjedésével a hálózatok annyira zsúfoltakká válnak, hogy a meglévők bővítése előbb-utóbb lehetetlenné válik. Így azok üzemeltetői kénytelenek új frekvenciákat bevezetni, jobb híján vállalva annak nehézségeit. E nehézségek nyilvánvalóak: nagyobb frekvenciájú berendezések technológiája bonyolultabb, így azok (esetleg: sokkal) drágábbak. Ebben az előadásban – előnyt kovácsolva a nehézségekből – arra mutattunk rá, hogy ezek az új, milliméteres hullámhosszak milyen előnyös újdonságokat hoznak. A 60 GHz körüli frekvenciasáv fő előnye, hogy igen sűrű hálózatokat lehet létrehozni az interferencia-zavartatás veszélye nélkül. A 70-80 GHz-es sáv, nagy frekvencia lévén, eddig rádióon meg nem valósított nagy sáv szélesség átvitelét teszi lehetővé.

Általános következtetésként szűrhetjük le: a jövő rádió-hálózatai – ezeken belül az ellátó hálózatok – igen nagy mértékben fogják a milliméteres hullámú sávot használni.

Hivatkozások

[1] H. Al Raweshidi, S. Komaki (ed): *Radio over Fiber Technologies*, 2002, Boston, London, Artech House

[2] L. Castanet (ed): *Influence of the Variability of the Propagation Channel...*, Vol. 3 *Clear Sky Optics*, 2008, Aachen, Shaker Verlag

- [3] M. Frecassetti, D. Mandich, R. Pellizzoni, R. Valtolina, Exploiting 70-90 GHz band for efficient Gigabit Wireless Communications, *European Conference on Wireless Technology* pp. 350-356, 2004, Amsterdam
- [4] ITU-R P.676-5 Recommendation: „Attenuation of atmospheric gases”, ITU, Geneva, Switzerland, 2001
- [5] ITU-R P.838-2 Recommendation: „Specific attenuation model for rain for use in prediction methods”, ITU, Geneva, Switzerland, 2003
- [6] ITU-R P.840-3 Recommendation: „Attenuation due to clouds and fog”, ITU, Geneva, Switzerland, 1999
- [7] ITU-R P.833-4 Recommendation: „Attenuation in vegetation”, ITU, Geneva, Switzerland, 2004
- [8] Terabeam corporation: „Performance Characteristics of 60-GHz Communication Systems”, 2002
- [9] FCC 03-248, „Allocations and Service Rules for the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95 GHz Bands”, Report and Order, Federal Communications Commission, November, 2003
- [10] FCC 05-45, „WTB Allocations and Service Rules for the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95 GHz Bands”, Memorandum opinion and order, Federal Communications Commission, March, 2005