

# A mobil szélessáv jelene, jövője

KOLONITS ANDRÁS

Magyar Telekom Nyrt., Rádiós és Átviteltechnikai Hozzáférés Tervezés, Kompetenciaközpont  
kolonitsa@t-mobile.hu

**Kulcsszavak:** rádiós hozzáférési hálózat, HSDPA, lefedettség, kapacitás

*Napjainkban nagyon felkapott téma lett a szélessáv. A kézisámítógépek elterjedésével és a mobilitás növekedésével egyre nagyobb igény mutatkozik kényelmes, kótetlen internetelésre. A mobilhálózatok technológiai és kiterjedtségbeli fejlettsége már elérte azt a szintet, amellyel ezek az igények tömegesen kielégíthetők. Ezért vagyunk napjainkban szemtanúi a mobilinternet rohamos elterjedésének idehaza és külföldön egyaránt. Ebben a cikkben röviden bemutatjuk a korszerű mobilhálózati megoldások néhány fontosabb jellemzőjét, bepillantunk az aktuális kihívások közé.*

## 1. Bevezetés

Mi a szélessáv definíciója? Erre nincs egyértelmű válasz. A rendszerszállítók, szolgáltatók az éppen elérhető legmagasabb sebességet tekintik és hirdetik szélessávként. Egy évtizeddel korábban, a 10 kbit/s-s modemek világában az 56 kbit/s például már csúcsmínőségnek, szélessávnak számított. Hasonlóképpen a rádiózásban a rövidhullámok után birtokba vett sávot ultrarövidhullámúnak nevezték. Ma pedig már nagyságrendekkel e felett járunk, amikor mobiltelefonálunk. A szélessáv elnevezés tehát egyfajta relatív adatátviteli sebességhez köthető. Mi a T-Mobilnál úgy gondoljuk, hogy szélessávnak nevezzük azt a sebességet, amely lehetővé teszi a kényelmes internetböngészést valamint a kézisámítógépen, mobilon történő televíziózást. Ez pedig nagyságrendileg 1 Mbit/s letöltési és 300 kbit/s feltöltési sebességgel érhető el. Természetesen pár év múlva bizonyosan el fog tolni a szélessávnak tekintett sebesség a magasabb értékek irányába, hallottunk már 100 Mbit/s, sőt 1 Gbit/s rádiós hozzáférési sebesség kísérletekről is. A laborkísérleteket és a szabványosítást követően a hangsúly a hálózat kiépítésére helyeződik. Ennek is megvannak a maga szakmai fogásai, amelyekből néhányat röviden bemutatunk. A közcélú és kormányzati mobilhálózatok tervezése, létesítése során felhalmozott tapasztalatok, a rendelkezésre álló infrastruktúra különösen alkalmassá teszi a Magyar Telekomot, hogy országos vezeték nélküli szélessávú szolgáltatást építsen ki.

## 2. Hálózatban gondolkodni, nemcsak egyedi rádiós kapcsolatokban!

### 2.1. Miben több a hálózat a rendszerelemek sokaságánál?

Amikor egy-egy kísérlet után bejelentésre kerül, hogy mekkora sebességet sikerült elérni vezeték nélküli kapcsolat segítségével, a közlemények gyakran azt sugallják, hogy ezzel akkor végre megvalósult a nagysebességű adatátvitel lehetősége mindenki számára. „Csak”

telepíteni kell a kisméretű bázisállomásokat a világítási oszlopokra és máris megvan a lefedettség. „Csak” be kell táplálni az erősáramú hálózatba a nagysebességű digitális jeleket s ezzel meg van oldva az internetelés, hiszen villamos hálózat minden lakásban van. Ezek a nagyotmondó állítások aztán szép lassan átadják helyüket azoknak a híreknek, hogy például az USA-ban korábban megkezdett városi, közcélú Wi-Fi hálózatépítések itt-ott félbeszakadnak, de a villanyoszlopokra szerelt DECT rendszerekkel sem sikerült a mobilszolgáltatókhoz hasonló méretű ügyfélbázist felépíteni. Mi hiányzik ezekből a rendszerekből?

Egy hálózathoz akkor csatlakoznak tömegesen az ügyfelek, ha a csatlakozásból több előnyük származik, mint a távolmaradásból. Az a jó hálózat, amelyet sokan használnak, így sok ember könnyen elérhető benne. A hozzáférés egységes, nem kell más és más weboldalon más és más szolgáltatóknál vouchereket vásárolni, hozzáférést aktiválni, hálózatot keresni, ha vidékre, vagy külföldre utazunk. Az egyszerű használat, a kényelem nagyon fontos. Kényelmes az a használat, amikor ugyanazt a készüléket használom otthon, munka közben, utazás során és nem kell kézi hálózatváltással bajlódni. Ehhez pedig nagy kiterjedésű, egységes technológián vagy pedig integrált intelligens hálózati megoldás (például IMS) szükséges. Fontos ezek mellett a biztonságos ügyfélazonosítás (autentikáció) és a lehallgathatatlan-ság is.

A közcélú, cellás mobilhálózatok (PLMN) elég jól eleget tesznek a fenti kívánalmaknak, talán ezért is a legelterjedtebb beszédforgalmi megoldások manapság. Egy-egy mobilszolgáltató általában országos szolgáltatást nyújt, teljes mértékben integrált és mozgás közben is folyamatos kapcsolatot biztosít (teljes mobilitás). Ez pedig azáltal valósul meg, hogy a rádiós hozzáférési pontok (bázisállomások) nem szigetszerűen üzemelnek, hanem az egyes cellák határán is megvalósul a folyamatos, jó minőségű rádiós kapcsolat, a zökkenőmentes hívásátadás. Sok hálózat nem képes erre, vagy eleve a technológia korlátaok miatt – nincs bennük mobilitás szerver,

### Rövidítések

<b>3G</b>	<i>Harmadik generációs mobilrendszerek</i> (1. generáció: analóg, 2. generáció digitális, 3. generáció: digitális multimédia, szélessáv)
<b>BSC</b>	<i>Base Station Controller</i>
<b>DECT</b>	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunication</i> digitális vezeték nélküli telefonszabvány
<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i> , GSM hálózatokra épülő, akár 200 kbit/s letöltési sebességet lehetővé tevő adatátviteli szabvány
<b>FTTx</b>	<i>Fiber To The curb, home</i> , optikai hálózat különböző kiépítettségei
<b>HARQ</b>	<i>Hibrid Automatic Repeat-request</i>
<b>HSDPA</b>	<i>High Speed Downlink Packet Access</i> , 3G hálózatok legújabb rádiós hozzáférési szabványa, amely nagyobb adatsebességet és gyorsabb hozzáférést tesz lehetővé
<b>IMS</b>	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i> , a next generation mobile networks egyik valószínű szabványa
<b>MIMO</b>	<i>Multiple In Multiple Out</i> , tér-idő kódolási szabvány amely a többutas terjedés sajátosságain alapul
<b>MTU</b>	<i>Maximal Transfer Unit</i> , az adatátviteli csomagok maximális méretét meghatározó paraméter
<b>OFDM</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i> , modulációs technológia, amely sok keskenysávú, egymással ortogonális segédvív segítségével valósít meg nagy spektrumhatékonyságot és rugalmasan skálázható kapacitást.
<b>RLC</b>	<i>Radio Link Controller</i>
<b>RNC</b>	<i>Radio Network Controller</i>
<b>TTI</b>	<i>Transmission Time Interval</i>
<b>WLAN (Wi-Fi)</b>	<i>Wireless Local Area Network</i> , szabványos kis és közepes hatótávolságú, szélessávú vezeték nélküli hozzáférés, amely a nomadikus használatot támogatja

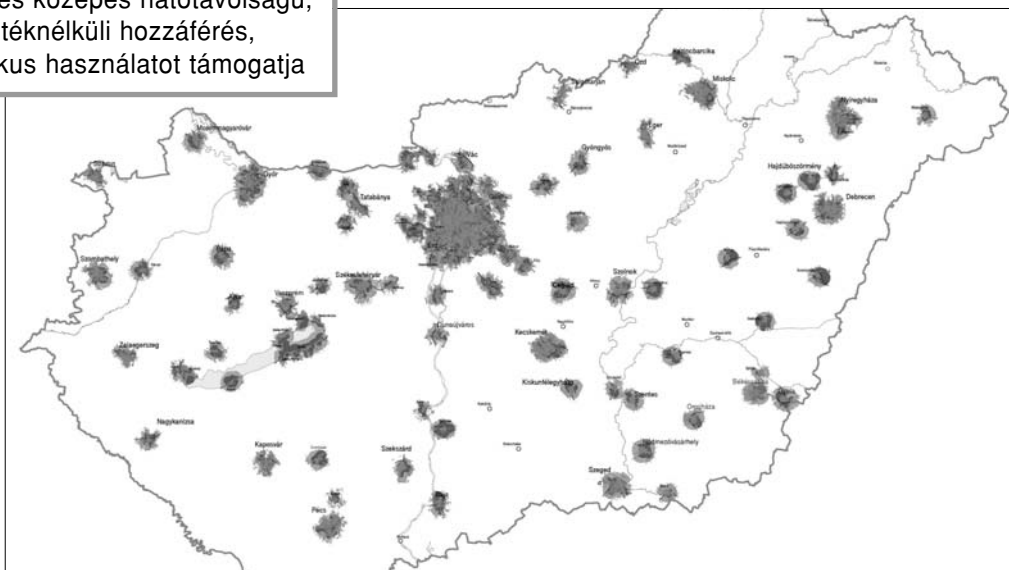
BSC, RNC, home agent – vagy pedig nem összefüggő rendszerként, hanem ad hoc szigetszerűen van telepítve, esetleg csak a magasabb árbevételt hozó ügyfelek olcsó lehalászása céljából készült. Ezekre a rendszerekre ilyenkor azt mondják, hogy a „nomadikus”, a „fix vezeték nélküli” használatot támogatják. A korlátozott ügyfélszabadság pedig jelentős visszatartó erő és kényelmetlenség, talán ezért korlátozott az ilyen rendszerek ügyfélköre. Manapság a mobilszolgáltatók sűrű lefedést, ezen belül akár helyre szabott szolgáltatást biztosítanak. Lefedettséjük kiterjed a lakások, munkahelyek mellett a metróvonalakra, alagutakra, plázákra, középületekre, repterekre, autótutakra, vasútvonalakra. A hálózatok kiépítettsége a lakosságra vetítve ma Nyugat-Európában kb. 60%-os. A T-Mobile jelenlegi 3G lakossági lefedettsége 53%-os, amely az 1. ábrán látható.

Mivel a mobil internet, illetve korábban a hangszolgáltatás miatt már ilyen jelentős mértékben kiépült a hálózat, kézenfekvő módon használható a mobilhálózat az interaktív televíziózásban visszairányú csatornaként is. A tévéműsor-választék nemcsak ügyfélre szabottan, hanem helyfüggően, akár pláza, vagy hot spot szinten is testreszabható.

#### 2.2. A hálózatiság jellemzői

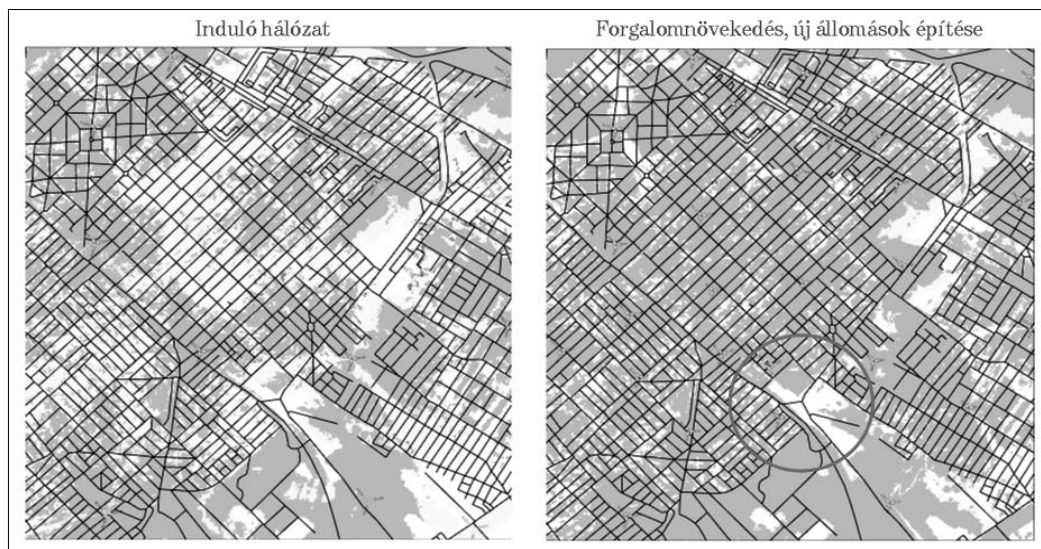
A hálózattervezés és létesítés során dől el az a kritikus kérdés, hogy a megvásárolt és letelepített eszközök képesek-e a hálózat lefedettségét és kapacitását növelni. Ez ugyanis nem triviális. Mivel minden új bázisállomás a meglévők által használt frekvenciaspektrumban üzemel, ezáltal nemcsak lefedettséget („térerő”) hoz létre, hanem egyidejűleg zsugorítja a szomszédos (és csökkenő mértékben, de a távolabbi) cellák területét, ugyanis interferenciát okoz. Értelemszerűen ugyanígy, egy hálózatban üzembe helyezett bázisállomás ellátási területe (az úgynevezett cella) és kapacitása kisebb, mint egy szigetszerűen üzemelő.

A nagy kérdés mindig az, hogyan lehet maximális lefedettségjavulás mellett minimalizálni a zsugorodást. Ennek módja egy-egy cella hatásterületének a minimalizá-



1. ábra

A T-Mobile 3G lefedettsége  
2007 év végén



2. ábra

Új állomások létesítése nem minden esetben növeli az ellátást

lása, azaz minél kevesebb környező cellára legyen hatással. Mivel a rádióhullámok terjedését nem lehet megakadályozni, ezért valamekkora interferencia, szomszédos cellaterületre történő átsugárzás mindig fellép. Ha azonban a bázisállomás antennák optimális elhelyezésével sikerül elérni, hogy a cella ellátási területén belül szabad rálátás legyen, a környező cellák felé pedig minél nagyobb csillapítás, akkor sikerül jobban elszigetelni (izolálni) egymástól a cellákat. Ezáltal az interferencia, egymás kapacitásának csökkentése az antennaelhelyezéssel, telephelykiválasztással és az antennák optimális ledöntésével minimalizálható.

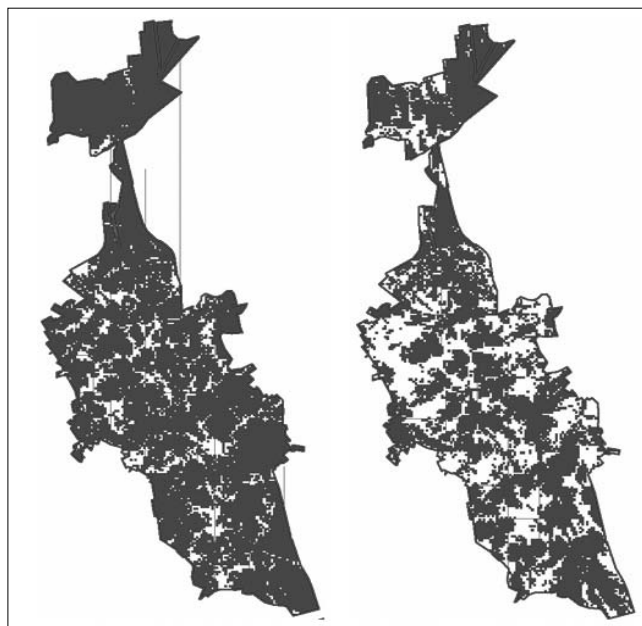
A 2. ábrán egy példát láthatunk arra, hogy egy adott területen a forgalom növekedésével új bázisállomások beiktatása általában növeli a szolgáltatási területet. A bekerikázott területen azonban nem növekedett az ellátás annak ellenére, hogy itt két pluszbázisállomás is bekerült a tervbe. Ennek oka, hogy nem megfelelő helyre kerültek az állomások, így már hangolással sem lehet összefüggő ellátást biztosítani (szerencsére a leírt eset még nem valósult meg, hanem terv verzió). Ezért fontos és minden esetben alapos egyedi, helyszíni vizsgálatot igényel a telephelyek kijelölése, az antennaelrendezés kialakítása.

Másik kritikus megkülönböztető jegye a hálózatiságnak a cellahatárokon történő zökkenőmentes működés. Cellahatár mindig van, hiszen valahol a lefedettség mértéke azonos lesz a szomszédos állomásával. A GSM, 3G/HSPA hálózatok rendelkeznek a szükséges protokollokkal és algoritmusokkal, amelyek megfelelő rádiós körülmények esetén biztosítják a folyamatos hívásátadást. Itt a folyamatos az ügyfél által érzékelt beszéd, adat, streaming kapcsolatra értendő, tehát például pufferekés esetén megfelelő megoldás a kapcsolat bontása a régi és automatikus felépítése az új cellában. Tipikusan hang- és broadcastforgalom esetén alkalmaz a rendszer soft handover, azaz amikor egyidejűleg akár több bázisállomással is kapcsolatot tart a mobil és kombinálja a rendszer a több forrásból érkező jeleket a folyamatos, jó minőségű kapcsolattartás érdekében. Adatátvitel esetén pedig a megfelelő pillanatban route-olja az adat-

folyamat a rendszer a régi celláról az újra. A hálózattervezőknek és hangolóknak már „csak” azt kell biztosítaniuk, hogy a rádiós kapcsolat minősége megfelelő legyen a cellahatáron ahhoz, hogy a bithibaarány kellően alacsony maradjon és az előbb említett algoritmusok működni tudjanak. Ennek megoldása messze nem triviális, ugyanis a cellahatáron első közelítésben egyforma a kiszolgáló és a szomszédos zavaró cellák jelszintje, ráadásul azonos frekvencián működnek, így egy-egy forgalmi csatornában az eredő jel-zaj viszony negatív. Megintcsak kritikus, hogy ennek a cellahatár zónának mekkora a kiterjedése, milyen adatsebesség és beszédminőség érhető el. Ez pedig a helyi sajátosságoktól (telephelyelrendezés, beépítettség, antennaelrendezés stb.) függ.

A 3. ábrán láthatunk példát arra, hogy az antenna-paraméterek beállításától függően nagymértékben lerontható/javítható a cellahatárokon az adatsebesség, ezáltal a lefedettség könnyen szigetszerűvé zsugorodik.

3. ábra Behangolt és hangolatlan cellahatárok



### 3. Lefedettség definiálása korábban és napjainkban

Amikor még csak hang- és áramkörkapcsolt adatszolgáltatást (néhány 10 kbit/s) nyújtott a mobilhálózat, akkor ebben az „egydimenziós” áramkörkapcsolt világban viszonylag könnyen meg lehetett határozni, hogy mit értünk lefedettség alatt. Ekkor azokat a pontokat tekintettük lefedettnek, ahol a hely 90%-ában nagyobb volt a térerősség, mint a küszöbszint. Épületen belül kritikus a jelszint, ott viszont a GSM rendszerekben tipikusan elhanyagolható az interferencia mértéke a lefedettség határán. Még ebben az egyszerű esetben is két dologra kell figyelni. Egyrészt a lefedettség arányra, azaz arra, hány százalékban akarunk beltéri lefedést biztosítani, például Budapest területén. Minél magasabb ez a szám, annál elégedettebb lesz az ügyfél, de a költségek meredeken növekednek 60-70% felett. Másrészt a helyvalószínűség értéke is fontos, enélkül a lefedettség nem értelmezhető. Ez azt definiálja, hogy ahol az ellátási térkép szerint beltéri a lefedés, ott épületen belül a helyek milyen százalékában elegendő a térerősség. Ez is paraméterezhető – 99% azt jelenti, hogy egy épület földszintjén végigjárva a helyiségeket, a hely 99%-ban biztosított a beltéri ellátás.

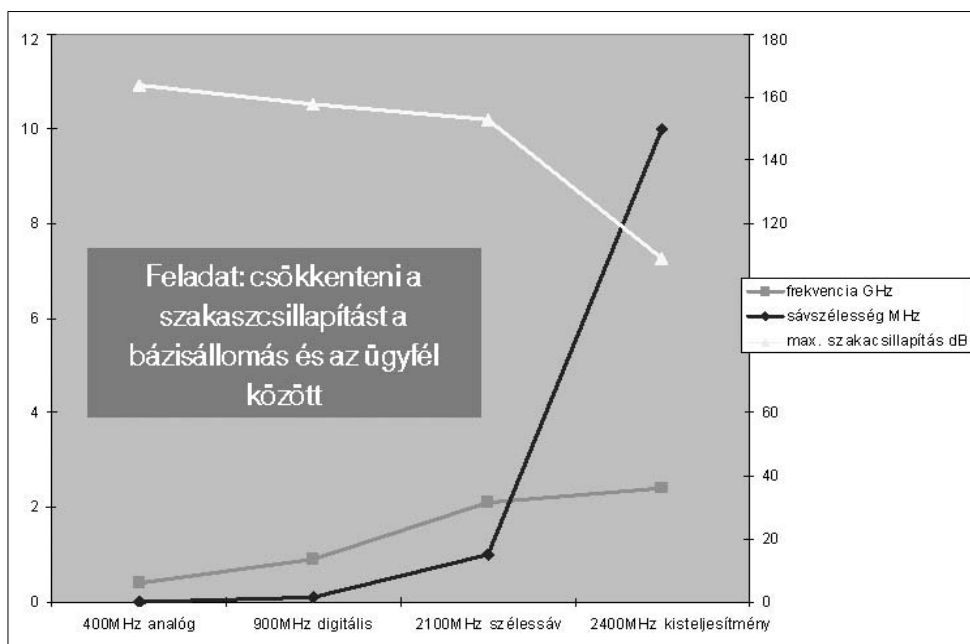
Eddig az összes mobilhálózati technológia esetében bebizonyosodott, hogyha a szolgáltatók a beltéri ellátás helyvalószínűségét túlságosan alacsonyra választják, akkor ezzel látszólag spórolnak a kiépítési költségeken, ugyanakkor az ügyfelek oly mértékben csalódtak lesznek, hogy ez jelentősen fékezi az iparág fejlődését (lásd a nyugat-európai GSM a 90-es évek elején). A későbbi hálózatfelújítások pedig már nem lesznek optimálisak, mivel az alapszter túlságosan ritkára lett szabva. Telephelyeket pedig gyakorlatilag lehetetlen utólag elmozdítani. Ezért végül is az optimálisnál több telephely létesítésével alakult ki ugyanaz a kívánatos lefedettség. Ugyanakkor a jó minőségű beltéri ellátás

nagymértékben hozzájárult a T-Mobil piacvezető szerepéhez a GSM és a 3G esetében is. A Magyar Telekom több mint 2000, a mobil, beltéri használathoz optimalizált telephellyel rendelkezik. Ezek távfelügyeltek, megfelelő tartalékidővel/alternatív úton biztosított átviteltechnikával rendelkeznek.

Manapság a szolgáltatások sokfélék és ezek mindegyike más és más rádiós lefedettségi küszöbszintet igényel. Ráadásul a csatornaadaptáció – amely intelligens algoritmusként hibajavítást végez – hatása már csak szimulációval modellezhető. Egzakt küszöbszintek egy adott adatátviteli sebességhez csak statisztikai alapon rendelkezhetők. A HSDPA rádiós közeg kezelő algoritmus például 10 ms-onként képes a borszt formátumot optimalizálni, azaz a moduláció típusát (QPSK vagy 16QAM), a hibavédő kódolási arány mértékét (például 1/2-1/3) beállítani a sebesség vagy a kapacitás maximalizálása érdekében.

Míg korábban a hálózatok szimmetrikus beszédátvitelre lettek méretezve, manapság az aszimmetrikus adatforgalom a domináns. A kapacitásigény és az adatsebesség a letöltési irányban a nagyobb, visszirányban a véges készülékteljesítmény miatt általában kisebb. Ennek következtében a hálózati lefedettségi küszöbök is külön-külön definiáltak le- és feltöltési irányban, kis- és nagysebességű adatátvitelre, azon belül is real time/non-real time szolgáltatásokra. Az így kialakított szolgáltatásmátrix egyes elemei az adott szolgáltatáshoz tartozó fajlagos forgalmak. Ezek segítségével a hálózat-tervező software modellezi a lefedettséget és megjeleníti a különböző szolgáltatásokhoz tartozó lefedettségi kontúrokat. A 3g.hu weboldalon publikált lefedettségi térkép is ilyen módon készül, amely egy speciális – talán a legérdekesebb – szolgáltatás bel és kültéri ellátási területeit mutatja.

Még egy kulisszatitok. A lefedettség biztosításához szükséges jelszint és az interferenciaviszonyok is függenek a beépítettségtől. Nagyvárosi beépítettség ese-



4. ábra

A növekvő adatsebesség és a magasabb frekvenciasáv egyre kisebb hatósugárral jár

tén jóval magasabb kültérben mért jelszint szükséges ahhoz, hogy beltéri lefedettségről beszéljünk, hiszen itt az épületek csillapítása nagyobb, mint egy kertvárosban. A hálózattervezés során digitalizált műholdfelvételeken lettek kategorizálva a beépítettségek 50 méteres felbontásban. A hálózattervező software minden egyes pontban az ott levő beépítettségnek megfelelő korrekcióval számol. Ezáltal nem kell a tervezőnek fejben tartania, hogy egy adott helyen milyen térerőszint szükséges a tényleges beltéri ellátáshoz, hanem a program maga korrigál. Így egységesen és pontosan, testreszabottan lehet ellenőrizni a lefedettség mértékét. Azaz nem építünk feleslegesen sűrűn vagy ritkán bázisállomásokot, hanem az adott beépítettséghez szükséges optimális sűrűséggel.

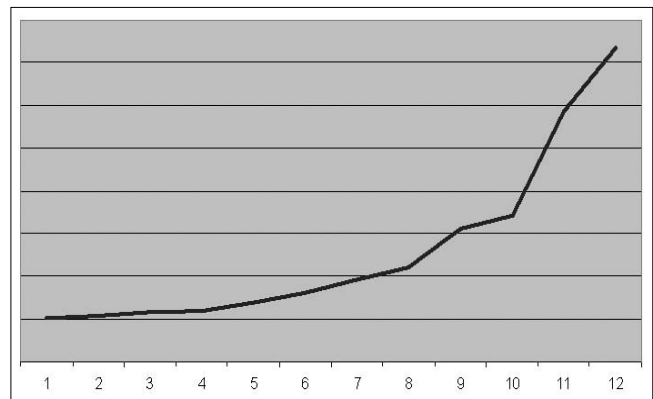
#### 4. Nemcsak a sebesség a fontos

Természetes igény az adatátviteli sebességek növekedése, hasonlóan a PC-k processzor és tárterület növekedéséhez. Ezek a több nagyságrendnyi növekedések aztán generálják azokat az alkalmazásokat, amelyek az emberi szellemi munkát hihetetlen mértékben képesek kiegészíteni, helyettesíteni (például keresőmotorok, RSS, webshopok, árukövetés, online supply chain management). Nem gondoljuk, hogy a mobilhálózatokban az adatátviteli sebesség nem fog továbbfejlődni. Azonban ennek nehézségei egyre növekednek, gondoljunk csak a lakossági ellenállásra új bázisállomások építése során. A nagyobb adatátviteli sebességhez pedig kisebb megengedhető szakaszcsillapítás tartozik, azaz a bázisállomás és az ügyfél közötti csillapodása/gyengülése a rádióhullámoknak. (Shannon törvénye: az adatsebesség-sávszélesség-jel/zaj viszony összefügg.) Ez a trend látható a 4. ábrán.

Ugyanakkor érdemes elgondolkodni azon a tendencián, hogy a mobilkészülékek gyakran „vékony kliensként” üzemelnek, azaz gyakorlatilag egy képernyőt nézünk, az applikáció pedig fixen telepített központi szerveren fut. Ilyen például sok navigációs software, amely valójában nem a GPS-el rendelkező mobilkészülékben fut, vagy éppen a jelenlét-szolgáltatások. Erősen leegyszerűsítve azt is mondhatjuk, hogy megfelelő az az adatátviteli sebesség, amely jó minőségű, nézhető mozgógépet (esetleg 3D) tesz lehetővé a kézisámítógépeken, s nem kell ennél több. Ez pedig a már ma elért néhány Mbit/s. Kísérletek tanulsága alapján a sebesség-hajszolás mellett fontos kérdés a futási idő, azaz amennyi idő alatt egy-egy csomag átér a hálózaton (RTT). Ennek csökkentése a protokollkonverziók számának csökkentésével, a adási egység-méret (MTU) összehangolásával, a gyakoribb (TTI) és lokális visszacsatolással lehetséges. Például a HSDPA-ban a rádiós erőforrásvezérlés közvetlenül a bázisállomásban történik, nem pedig a bázisállomásvezérlőben. Ezáltal egyrészt kevesebb adatot utaztatunk az átviteltechnikai hálózatban az RNC felé/felől, másrészt gyorsabban tud kódolást váltani a rádiós interfész, gyorsabban reagál egy-

egy hibás burstre. Érdekes összehangolni, hogy a hálózat mely rétegében van visszacsatolás. Például LLC szinten felesleges az acknowledged mode, ha már RLC szinten ez be van állítva (HARQ). Ráadásul a ma használatos transzfer protokollok (HTTP, TCP/IP) nem rádiós környezetre, hanem vezetékös modemesre lettek kialakítva és optimalizálva. Ezért a cellaváltást, rádiós fadinget nem képesek optimálisan lekezelni, hanem csak az adatátviteli sebesség jókora lengéseivel. Sok „felesleges” információt is tartalmaznak, amelyek a szűkös rádiós keresztmetszeten már éreztetik hatásuk.

Ezért egyrészt újabb protokollokat fejlesztettek ki (pl. HTTP1.1) másrészt speciális, „röptében” tömörítő alkalmazások, úgynevezett speed proxy-k (Performance Enhancing Proxies) kerülnek telepítésre, amelyek például wapozás közben átalakítják az eredeti HTML formátumot a mobilok által jobban értelmezhetővé és lecsúsztatják az információt a mobilok által megjeleníteni képesekre. Internet-szörfözés közben a szerverkapacitás, válaszidő, gerinchálózat, nemzetközi vonalak, routerek, számlainformáció-figyelés stb., mind legalább oly mértékben befolyásolják az érzékelt letöltési sebességet, mint a rádiós hozzáférési hálózat sebessége.



5. ábra Az adatforgalom növekedése 2007-ben

#### 5. Kapacitásméretezés

##### 5.1. Meddig növekszik a forgalom?

Ha megnézzük a forgalomnövekedés mértékét az elmúlt évben, akkor láthatjuk, hogy a növekedés exponenciális, tehát nem sok ideje marad a fejlesztőknek, hogy a hálózatok kapacitását megnöveljék. Az 5. ábrán láthatjuk a forgalomnövekedés dinamikáját.

Véleményünk szerint a növekedés mértéke közép-távon legalább ekkora lesz. Gondoljuk ezt azért, mert manapság egyre nagyobb a mobilitás iránti igény. Ennek egyik jele, hogy ma már több laptopot/kézisámítógépet vásárolnak az emberek, mint asztali PC-t. Ezek pedig egyre inkább vezeték nélküli internetcsatlakozással működnek. Másrészt a HSDPA megjelenése óta abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy a felhasználói sebességigények kielégíthetők teljeskörű mobilitás és nemzetközi barangolás mellett. A szélessávú vezeték nélküli lefedettség ma Európában gyakorlatilag minden közepes vagy annál nagyobb városban, üdülőhe-

lyen, kereskedelmi területen elérhető. Ma a mobil szélessávú forgalom körülbelül 70%-a internet használat. A jövőben ez még több nagyságrenddel fog növekedni, ugyanakkor egyre nagyobb részarányt fognak jelenteni a mobil TV és a különböző video-tartalmak, streamingek. Az ügyfelek belénk vetett bizalma kritikus, talán a legfontosabb a jövőnkét illetően. Fontos tehát, hogy a mobilhálózat terhelten, nagy forgalom mellett is élvezhető felhasználói sebességet biztosítson. Ez nem egyszerűen újabb berendezések letelepítését jelenti. Elsősorban azért, mert a rendszer ugyanazt a frekvenciasávot használja fel újból és újból, amikor újabb bázisállomások kerülnek telepítésre. Ha pedig újabb frekvenciasávokat veszünk birtokba, ehhez megfelelő többsávú mobilkészülékek és a frekvenciasávok közötti váltást (például 900-2100 MHz) lehetővé tevő algoritmusok szükségesek.

### 5.2. Mekkora kapacitása a hálózat?

Felvetődik a kérdés, hogy mekkora kapacitást képesek biztosítani a mobilhálózatok, hiszen a cellakapacitáson osztoznak a felhasználók. Ez a rádiós lefedés természetéből adódó cella-erőforrás megosztás teszi igen költséghatékonyá a mobilhálózatokat. A kapacitás természetesen véges, ha azonban időben végigtekintjük ennek fejlődését, akkor okkal lehetünk optimisták.

A mobilhálózatokban a 2000-es évek elején jelent meg a csomagkapcsolt átvitel néhány 10 kbps sebesség elérését lehetővé téve. Azóta szinte évente újabb technológia jelent meg a vezeték nélküli hozzáférési hálózatokban. Az EDGE már 100 kbps nagyságrendű tényleges sebességet tesz lehetővé, a 3G Rel99 kereskedelmi elsőként realizált változata 300 kbps körüli, a HSDPA jelenleg 1-3 Mbps körüli effektív sebességet biztosít. Korábban soha nem látott mértékben állnak előttünk további technológiák az access hálózatokban, melyek révén a sebességet a 10 Mbps-os nagyságrendbe, majd a későbbiekben 100 Mbps köré tudjuk emelni. Habár a technológiák esetén egyértelműen és leggyakrabban a fizikai réteg maximális sebességét adják meg, amely mögött mindig elmaradnak a fent is említett ügyfél által érzékelt átlagos sebességek, a növekedés mértéke optimizmusra ad okot a jövőbeni sebesség-, illetve kapacitásigények kielégítését illetően.

### 5.3. Hogyan növelhető a kapacitás?

A sok izgalmas technológiai csodából, amely ezeket elérhetővé teszi, néhányat említünk meg. Kezdjük a magasabbrendű moduláció használatával. Ez ügyes kódolási és hibajavító algoritmusok segítségével a jelenlegi QPSK moduláció mellett egyre nagyobb arányban biztosítja a 16QAM használatát, növelve ezzel az időegység alatt átvitt információ mennyiségét. Ugyanazon jel/zaj viszony esetén a HSDPA jobb adatátviteli sebességet ér el, mint a Rel99, köszönhetően többek között az intelligens ütemezőnek. Ez az ütemező ma már képes a gyakorlatilag ideális multiplexálásra, azaz a rádiós csatornát néhány ms-os időközönként képes egy-egy felhasználó felé irányítani, ugyanilyen gyorsasággal be-

állítani a jel-zaj viszonyoknak megfelelő modulációt, csatornakódolást. Az újraküldések kombinálásával is javul a hibajavító képesség, így a kódolatlan QPSK bithibarány görbénél alacsonyabb jel-zaj viszony esetén érhetünk el ugyanakkora átviteli sebességet.

Az újraküldések kombinálásának bonyolultságát jól jellemzi, hogy a mobilkészülék képes akár 170 ezer bitet tárolni a rádiós dekódolás során, mielőtt előállítja a dekódolt bitfolyamot (ez nem azonos a már sikeresen demodulált és dekódolt csomagok magasabb szintű protokollok/média lejátszó szoftverek által történő pufferbe rendezésével a folyamatos képlejátszásra érdekében). Az pedig szimulációk és különféle hálózattervezési megfontolások eredményeképpen adódik, hogy egy konkrét hálózatban milyen módon maximalizáljuk a hasznos adatátviteli kapacitást. Lehet magasabb interferenciaszint – egyben nagyobb kihasználtság – mellett üzemelnünk, ekkor több a csomagvesztés/újraküldés, de több és nagyobb csomagot küldünk (pipelining). Másrészt lehet, hogy egy konkrét hálózatban a kisebb interferenciaszint, kevesebb csomagküldés, de egyben ritkább csomagvesztés/ismétlés eredményez nagyobb kapacitást. Mindkét esetben vizsgálni kell, hogy a jitter megnövekedése milyen applikációknál mekkora problémát okoz.

Mivel egy-egy cellát egyszerre többen használnak, ezért az elérhető adatátviteli sebesség nemcsak a lefedettségtől és a többi rádiós csatornaparamétertől függ, hanem az egyidejű használat mértékétől is. A felhasználók véletlenszerűen és lökésszerűen generálják a forgalmukat, ezért 100%-os kihasználtság esetén nagyon lecsökkenne az egy ügyfél által érzékelt adatátviteli sebesség. Ennek az az oka, hogyha folyamatosan foglalt a rádiós csatorna, akkor várakoznia kell, sorba kell állnia az egyes felhasználói csomagoknak. Ezért a bázisállomáson működő ütemezőnek figyelembe kell vennie, hogy

- melyik felhasználó milyen mennyiségű adatot szeretne kapni/küldeni (azaz kinek kell gyakran erőforrást adni),
- melyik felhasználónak mikor küldött utoljára adatot, fennáll-e ezáltal egy bizonyos – az adott felhasználó által igényelt – minimális adatátviteli sebesség (azaz nem „felejtkezhet” meg egyikről sem),
- a felhasználó éppen milyen rádiós körülmények között tartózkodik, azaz milyen mennyiségű adat fogadására/küldésére képes a következő néhány milliszekundumban (!), tehát melyik felhasználónak mikor küldje az adatcsomagot. Belátható, hogy egy éppen rossz rádiós körülmények között tartózkodó felhasználóra erőltetetten küldött adatmennyiség csak sokszoros teljesítmény és hibavédelem mellett küldhető ahhoz a pillanathoz képest, amikor jó rádiós körülmények közé kerül. A rádiós körülmények, a fading 10 ms-onként változik a gyakorlatban (!)
- közben azért ne legyenek hosszabb kihasználatlan periódusok a rádiós átvitelben (azaz a cellakihasználtság kedvezően magas legyen).

Ha a fenti feladatokat sikerül megoldani, akkor beszélünk a bázisállomásokban rádiós szinten megvalósított Quality of Service-ről, amely a hatékony működés alapja. Applikáció szintű QoS rendkívül pazarló és drága megoldás egy olyan összetett rendszerben, mint a rádiós hálózat. Az adatáramlásokat analizálva azt látjuk, hogy a session-méretek (azaz egy-egy adatátviteli folyamat) szórása rendkívül nagy. Találkozunk 2-20 kB-os wap-applikációkkal, ugyanakkor egy weboldal letöltése többszáz kB, egy-egy filetranszfer pedig MB-GB nagyságrendű. Ez a diverzitás rendkívüli mértékben megnehezíti a hálózat optimalizálását, illetve a garantálandó átviteli sebesség, vagy a kiszolgálható ügyfelek számának meghatározását. Az is fontos méretezési kérdés és egész más adatgyűjtést/kiértékelést igényel, hogy átlagos, vagy például 90%-ban elért sebességre méretezzük a hálózatot.

Hogyan lehetséges tovább növelni a kapacitást, illetve a lefedettség hatósugarát?

Az LTE rendszerben (a következő mobil hozzáférési technológia) alkalmazandó OFDM moduláció megnöveli a spektrumhatékonyságot, egyesítve az alacsony bitsebességű segédvívök és a meredek sávszélek előnyeit. Ezáltal adott sáv szélességen több információ vihető át, a rádiós csatornahibák nagyon hatékonyan javíthatók. A MIMO (Multiple In Multiple Out) tér-idő kódolás segítségével ugyanakkora sáv szélesség és átlagos szakaszcsillapítás mellett jobb bithibaarány érhető el, ezáltal növelhető a nagysebességű rádiós átvitel hatósugara.

Ha pedig minden rádiós praktika ellenére elfogyna a kapacitás, akkor újabb frekvenciasávok lesznek birtokba vehetők például 2,6 GHz-en, vagy a digitális átállás során felszabaduló UHF csatornákon („digitális osztalék”). A sok kis cellából álló mobilhálózatok spektrumhatékonyságát jól jellemzi, hogy ma a Magyar Telekom teljes 3G hálózata gyakorlatilag ugyanakkora spektrumot foglal el, mint egyetlen TV csatorna. A vezeték access technológiák terén is ugyanazokért a célokért dolgoznak a fejlesztők: nagyobb adatsebességet biztosítani és/vagy egyre nagyobb távolsáig. Az ADSL2+, a VDSL, illetve az optika különböző mértékű penetrációja (FTTx) hasonlóan terjeszti ki a hozzáférési hálózat – ez mindig szűk keresztmetszet – lehetőségeit olyan szintekre, amelyek korábban csak backbone/transzport szinten voltak elképzelhetőek. Például manapság Japánban a vezeték hálózatban a kliens access sebesség 60 Mbit/s felett van, több OECD országban pedig 15 Mbit/s felett.

További jelentős kapacitásnövelést tesznek lehetővé a különböző hozzáférési technológiák intelligens kombinációi, azaz amikor a felhasználó által nem érzékelt módon, automatikusan kerül a kapacitás és tarifa szempontjából optimális hálózat kiválasztásra. Például az internet forgalom jelentős része beltérben generálódik, ott pedig egyre több helyen érhető el valamilyen szélessávú kapcsolat (ADSL, kábel-tv). Ezt pedig fel lehet használni a lakásokba, irodákba telepített Wi-Fi access pontok vagy úgynevezett femto bázisállomások átvitel-

technikájának biztosítására. Utóbbi eset annyira transzparens, hogy a kliens eszköz számára a lakásba telepített femto bázisállomáson keresztül (méretét tekintve egy WLAN-nal azonos) kapcsolódva nem is érzékel különbséget, ugyanúgy 3G bázisállomáshoz kapcsolódik. Csak éppen ez a bázisállomás a femto cella, amely kis teljesítmény mellett is kiváló beltéri lefedést és nagy kapacitás nyújt gyakorlatilag lakásonként.

Megjelentek a W-iFi és 3G terminált egyaránt tartalmazó mobilkészülékek, laptopok is, ezáltal pedig a hálózatüzemeltetők a nagy forgalmi koncentrációjú helyeken (hot spotokban) kombinálhatják a 3G és WLAN technológiákat, hogy együttesen még nagyobb kapacitást biztosítsanak.

## 6. Összefoglalás

A HSDPA technológia segítségével a mai szélessávú igények többsége kielégíthető, a forgalom exponenciális felfutása és a hálózatok világméretű terjedése ezt támasztja alá. Hosszútávú ügyfélmegtartásra és a bizalom megszolgáltatására csak azok a hálózatok képesek, amelyek lefedettségét és kapacitását ténylegesen javítják a szolgáltatók.

A legújabb maximális sebességet lehetővé tevő technológiák bekapcsolása érdemi hálózatfejlesztés nélkül azt eredményezi, hogy ugyanazon telephelyek körül egyre kisebb köröket húznak és szigetszerűvé zsugorodó, átviteltechnikával nem támogatott csonka rendszerek jönnek létre, ilyenekre azonban nincs tömeges igény. Komoly szolgáltató ezt nem engedheti meg magának. Hosszútávon az access hálózatok sebesség, kapacitás és egymás közötti átjárása területén óriási fejlődés előtt állunk.

### A szerzőről

**Kolonits András** villamosmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetemen, MBA/MSM diplomáját Indiana állam Purdue Egyetemén szerezte. Jelenleg PhD tanulmányait folytatja. A Magyar Telekom Rádiós Hozzáférési és Átviteltechnika Tervezési Központ vezetője. 1993 óta dolgozik ezen a szakterületen (először a Westelnél), irányításával végezte a csapat a GSM, Tetra, 3G/UMTS hálózatok tervezését. A tevékenység kiterjed a mikrohullámú hálózat tervezése is. Saját fejlesztésű frekvenciatervezési módszere és a kistelepek gazdaságos mobilhálózati ellátása a Magyar Innovációs Pályázaton 1998-ban és 2004-ben különdíjban, illetve elismerésben részesültek. A rádióhálózat minősége és hatékonysága nemzetközi szinten elismert. A Központ részt vesz nemzetközi projekteken a Magyar Telekom leányvállalatainál, a Deutsche Telekomnál, illetve más innovatív társaságokban.